



TESIS - TE 142599

PEMILIHAN RELAY TERBAIK UNTUK SISTEM KOMUNIKASI KOOPERATIF PADA JARINGAN AKUSTIK BAWAH AIR

ARUM SHADEWI ITTAQA
2213 203 203

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Wirawan, DEA
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - TE 142599

BEST RELAY SELECTION FOR UNDERWATER COOPERATIVE ACOUSTIC NETWORK

ARUM SHADEWI ITTAQA
2213 203 203

SUPERVISORS
Dr. Ir. Wirawan, DEA
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

MASTER PROGRAM
MULTIMEDIA TELECOMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**



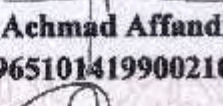
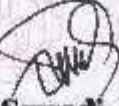

oleh:

**Arum Shadewi Ittaqa
NRP. 2213 203 203**

Tanggal ujian : 18 Januari 2016


Periode wisuda : Maret 2016

Disetujui oleh:

- 
1. **Dr. Ir. Wirawan, DEA** (Pembimbing I)
NIP. 196311091989031011
- 
2. **Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.** (Pembimbing II)
NIP. 196411301989032001
- 
3. **Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA** (Penguji)
NIP. 196510141990021001
- 
4. **Dr. Ir. Suwadi, MT.** (Penguji)
NIP. 196808181993031002
- 
5. **Dr. Ir. Endroyono, DEA** (Penguji)
NIP. 196504041991021001



Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D
NIP. 196012021987011001

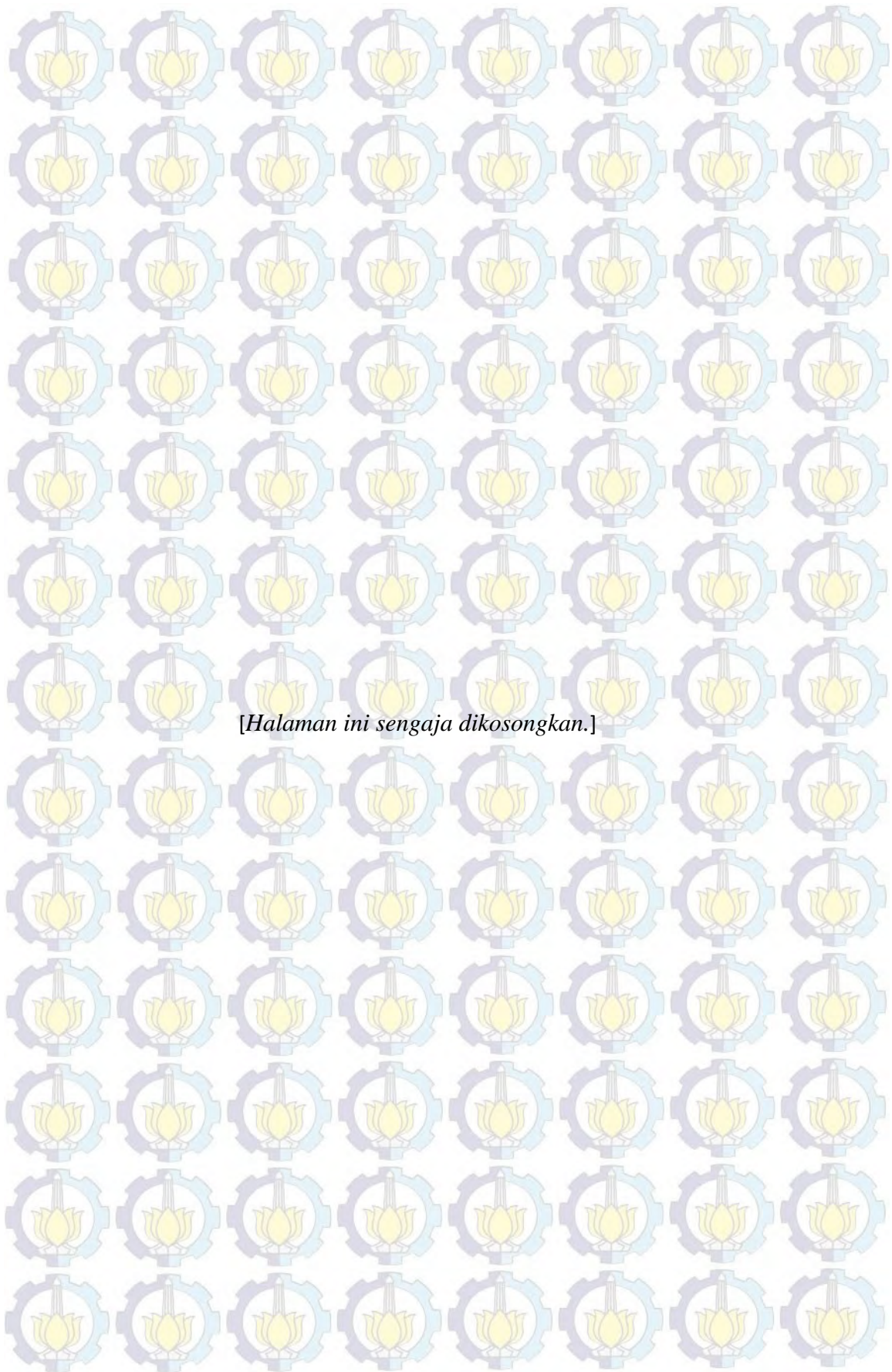
PEMILIHAN RELAY TERBAIK UNTUK SISTEM KOMUNIKASI KOOPERATIF PADA JARINGAN AKUSTIK BAWAH AIR

Nama Mahasiswa : Arum Shadewi Ittaqa
NRP : 2213203203
Pembimbing 1 : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Pembimbing 2 : Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

ABSTRAK

Baru-baru ini, penelitian dalam bidang jaringan akustik bawah air mengalami perkembangan yang pesat. Efek yang mempengaruhi jaringan akustik bawah air hampir sama dengan terestrial. Skema transmisi yang biasa digunakan untuk terestrial tidak dapat langsung diaplikasikan ke dalam jaringan akustik bawah air karena keunikan dari jaringan bawah air ini. Efek yang mempengaruhi jaringan akustik bawah air yaitu propagasi *delay* yang besar, *bandwidth* yang sangat terbatas, dan BER (*Bit Error Rate*) yang tinggi. Dengan banyaknya tantangan pada komunikasi bawah air ini, diperlukan teknik kooperatif. Teknik ini menggunakan *relay* untuk membantu mentransmisikan sinyal informasi dari *source* agar menghindari adanya keterlambatan atau kondisi sinyal yang jelek yang sampai di penerima dan teknik kooperatif menjanjikan kinerja yang signifikan dalam hal reliabilitas *link*, efisiensi spektrum dan kapasitas sistem. Pada penelitian ini, karena adanya efek *multipath* pada proses transmisi (gabungan sinyal dari *source* dan *relay*), perlu dilakukan pemilihan *relay* terbaik yang digunakan untuk mengatasi permasalahan yang ada pada sistem komunikasi bawah air. Untuk pemilihan *relay* pada penelitian ini, kriteria yang dipertimbangkan di antaranya yaitu pemaksimalan SNR (*Signal to Noise Ratio*) dan BER yang rendah. Skema AF (*Amplify and Forward*) digunakan pada penelitian yang diusulkan karena kompleksitasnya yang rendah. Meskipun noise pada skema AF juga dikuatkan bersamaan dengan sinyal, gain yang didapatkan pada skema AF lebih besar daripada skema DF (*Decode and Forward*) karena skema kooperatif tidak tergantung hanya dari keberhasilan decoding pada *relay*. Pada skema AF, *relay* langsung menguatkan sinyal informasi yang diterima, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke *destination* lebih cepat dibandingkan dengan skema DF, karena relay pada skema DF harus memproses sinyal informasi yang diterima terlebih dahulu.

Kata kunci: Jaringan akustik bawah air, komunikasi kooperatif, *Relay Amplify and Forward*, *relay selection*.



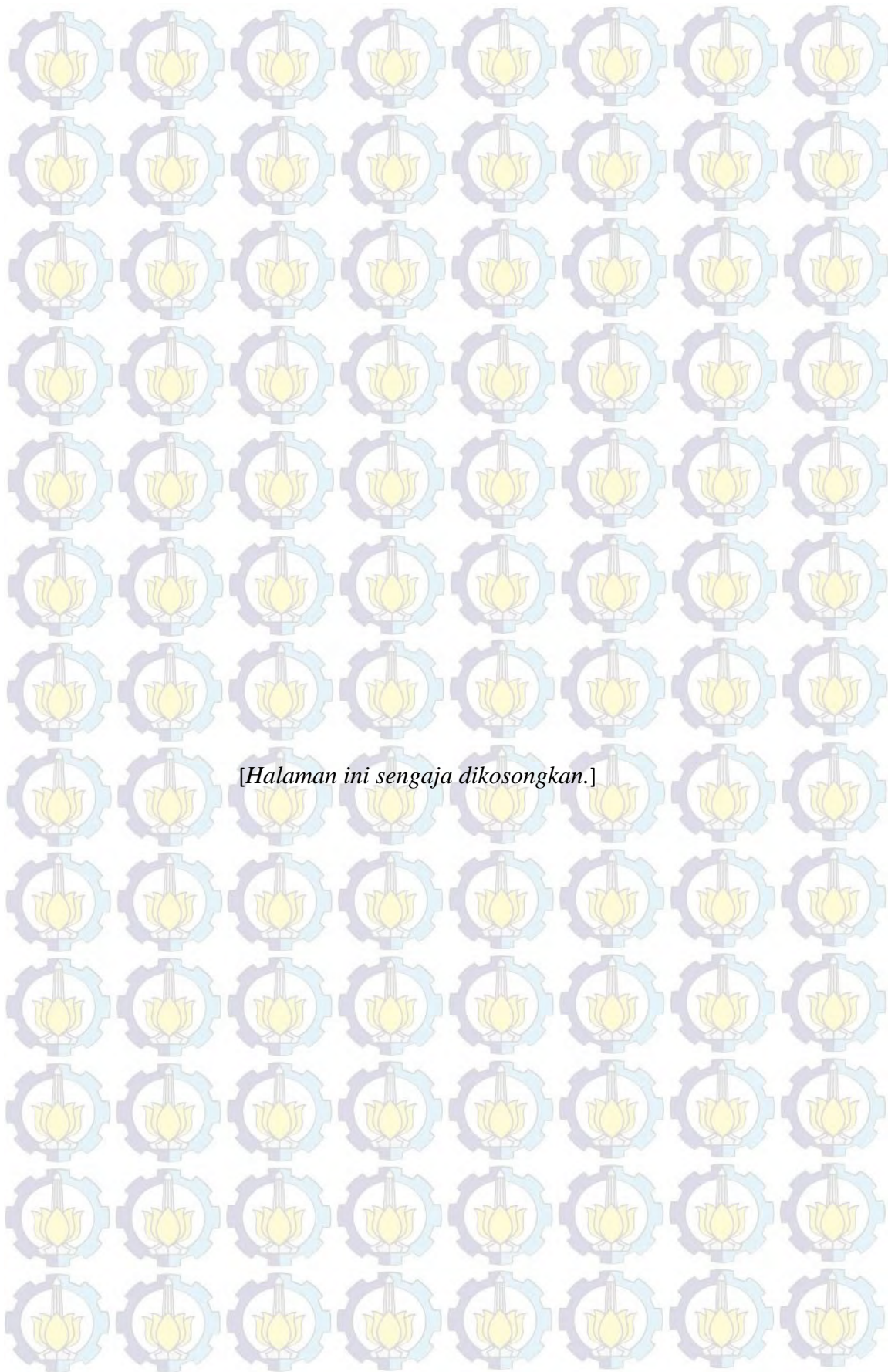
BEST RELAY SELECTION FOR UNDERWATER COOPERATIVE ACOUSTIC NETWORK

Student Name : Arum Shadewi Ittaqa
NRP : 2213203203
Advisor 1 : Dr. Ir. Wirawan, DEA.
Advisor 2 : Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.

ABSTRACT

Recently, research in underwater acoustic networks experiencing rapid development. Effects which affect the underwater acoustic networks is similar to the terrestrial. Transmission schemes used for terrestrial can not be directly applied to underwater acoustic networks because of the uniqueness of this underwater network. Effects which affect the underwater acoustic networks are the large propagation delay, limited bandwidth, and high BER (*Bit Error Rate*). With so many challenges in the underwater communication, cooperative techniques are required. This technique uses a relay to help transmit signal information from the source in order to avoid any delays or poor signal conditions that reach the receiver and cooperative technique promises significant performance in terms of reliability of links, spectrum efficiency and system capacity. In this study, due to multipath effects at transmission process (combined signal from the source and relay), needs to be done selecting the best relay which used to overcome the existing problems in underwater communication systems. For the selection of the relay in this study, the criteria considered are maximizing SNR (*Signal to Noise Ratio*) and low BER. AF (Amplify and Forward) scheme is used in the proposed research because of low complexity. Even though noise in AF scheme is amplifies along with the signal, the achievable gain in the AF scheme is larger than the DF scheme since the cooperative transmission is not contingent upon the successful decoding at the relay. In AF scheme, the relay directly amplifies the received signal information, so the time needed to get to the destination faster than the DF scheme, because in the DF scheme the relay must process received information signal beforehand.

Keywords: underwater acoustic networks, cooperative communication, Relay Amplify and Forward, relay selection.



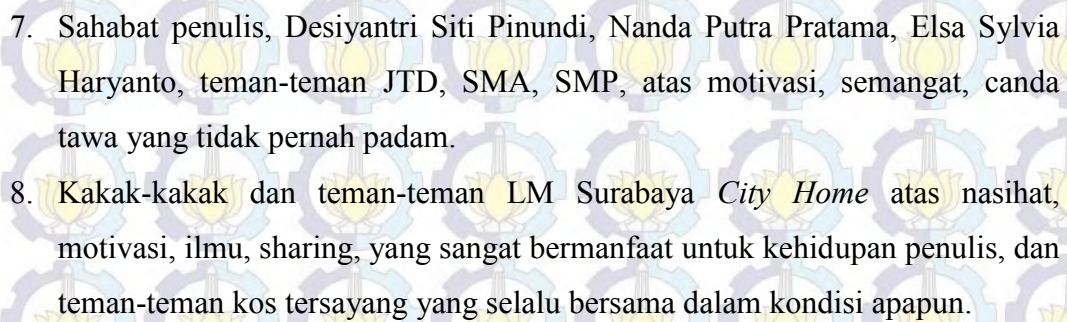
KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan sehingga penulisan tesis ini bisa diselesaikan dengan baik. Buku tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister pada Jurusan Teknik Elektro, Bidang Keahlian Telekomunikasi Multimedia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah memberikan segenap dukungan dalam penyusunan tesis ini khususnya kepada :

1. Orang tua tercinta Ayah Edy Siswanto Mama Sri Rahayu Listyowati, pakpuh tercinta Kukuh Budianto, bupuh tercinta Siti Mahabab, adik-adikku tersayang Candra Adi Wibisono, Hira Asyifa, Aditya Imam Fadhilah, keluarga besar mbah Soedjono atas semangat dan ketulusannya dalam mendoakan putri, ponakan, kakak, adik, saudara, sepupu dan segala keceriaan dalam kehidupan penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Wirawan, DEA. yang telah berkenan membimbing penulis menyelesaikan tesis ini sekaligus yang telah membimbing penulis dalam permasalahan perkuliahan.
3. Ibu Dr. Ir. Titiek Suryani, MT atas bimbingan, motivasi, nasihat, dan kesabaran dalam menyelesaikan tesis ini.
4. Bapak dan Ibu Dosen S2 Telekomunikasi Multimedia atas ilmu pengetahuan yang telah diberikan selama kuliah.
5. Rekan-rekan S3, S2, dan S1, Lab Komunikasi Multimedia B304 yang telah berbagi keceriaan, suka duka, di dalam kondisi apapun.
6. *Underwater Research Group* (Bapak Wirawan, Bapak Tri Budi, Ibu Endang Widjiati, Bapak Dhany Arifianto, Ibu Yuning Widiarti, Mas Syirajuddin, Mas Azran, Mbak Niken, Arum).

- 
7. Sahabat penulis, Desiyantri Siti Pinundi, Nanda Putra Pratama, Elsa Sylvia Haryanto, teman-teman JTD, SMA, SMP, atas motivasi, semangat, canda tawa yang tidak pernah padam.
 8. Kakak-kakak dan teman-teman LM Surabaya *City Home* atas nasihat, motivasi, ilmu, sharing, yang sangat bermanfaat untuk kehidupan penulis, dan teman-teman kos tersayang yang selalu bersama dalam kondisi apapun.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu demi perbaikan dan penyempurnaan tesis, maka saran dan kritik membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Besar harapan penulis bahwa tesis ini dapat memberikan kontribusi untuk pengembangan keilmuan dan bermanfaat untuk masyarakat Indonesia.

Surabaya, Januari 2016

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
---------------------	---

LEMBAR PENGESAHAN	iii
-------------------------	-----

ABSTRAK	v
---------------	---

ABSTRACT	vii
----------------	-----

KATA PENGANTAR	ix
----------------------	----

DAFTAR ISI	xi
------------------	----

DAFTAR GAMBAR	xv
---------------------	----

DAFTAR TABEL	xvii
--------------------	------

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
--------------------------	---

1.2 Rumusan Masalah	3
---------------------------	---

1.3 Tujuan Penelitian	3
-----------------------------	---

1.4 Batasan Masalah	3
---------------------------	---

1.5 Relevansi	4
---------------------	---

1.6 Sistematika Penulisan	4
---------------------------------	---

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Komunikasi Bawah Air	7
---------------------------------------	---

2.1.1 <i>Sound Speed</i>	8
--------------------------------	---

2.1.2 Atenuasi	10
----------------------	----

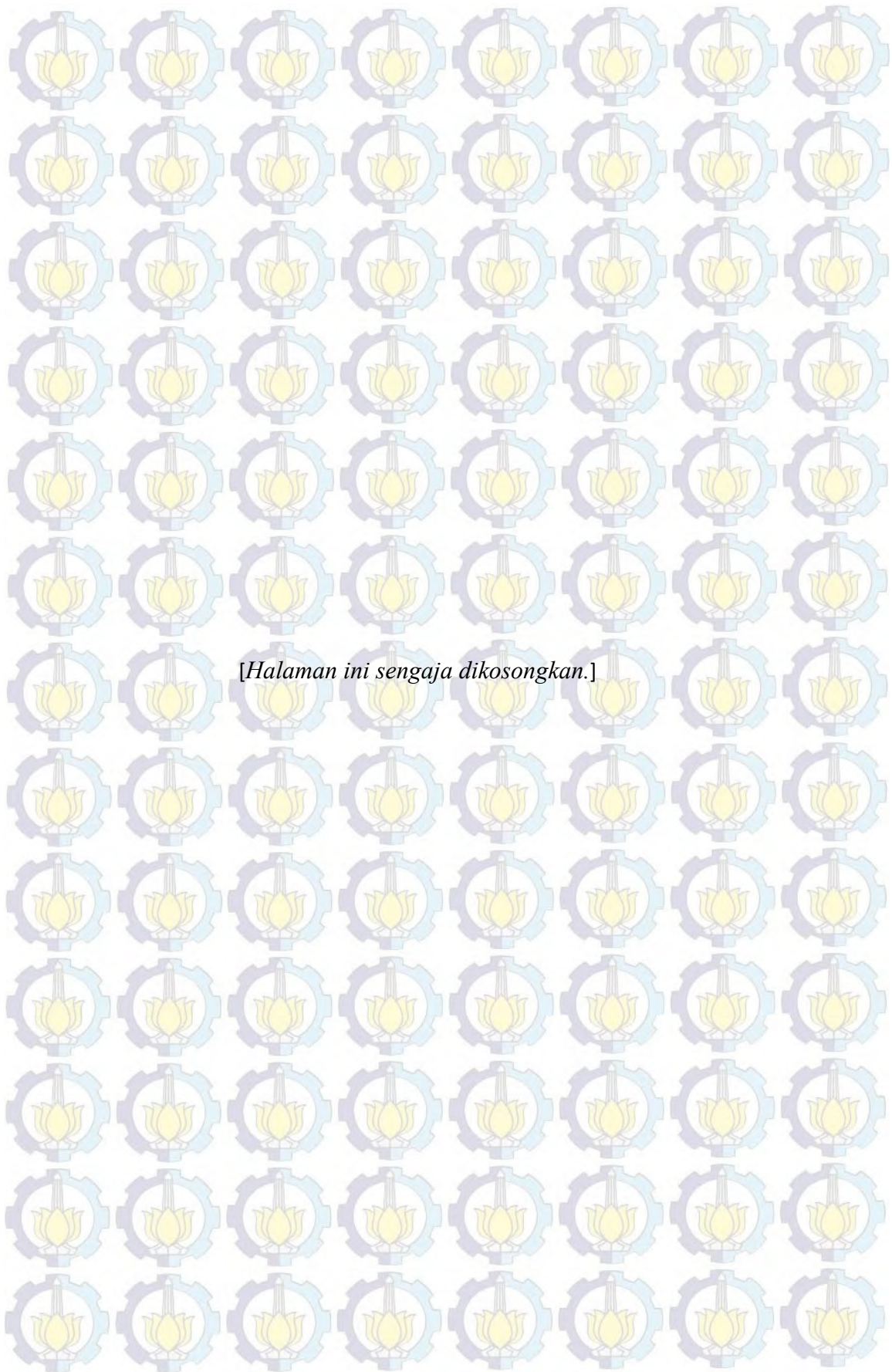
2.1.3 <i>Noise</i>	14
--------------------------	----

2.1.4 <i>Kanal Multipath</i>	16
------------------------------------	----

2.2 Modulasi	18
--------------------	----

2.3	Sistem Komunikasi Kooperatif	22
2.3.1	Skema AF (<i>Amplify and Forward</i>)	23
2.3.2	Skema DF (<i>Decode and Forward</i>)	27
2.4	Pemodelan Kanal Akustik Bawah Air	28
2.5	Teknik <i>Combining</i>	31
2.6	Teknik Pemilihan Relay	34
3	METODE PENELITIAN	
3.1	Rancangan Penelitian	37
3.2	Penerapan sistem komunikasi kooperatif	39
3.2.1	Pemodelan kanal bawah air	41
3.3	Pembangkitan data secara acak	42
3.4	Modulasi BPSK	43
3.5	Kanal Bawah Air	43
3.6	Perhitungan BER (Bit Error Rate)	45
3.7	Skema Pemilihan <i>Relay</i>	45
3.7.1	Pengaturan urutan waktu transmisi relay	49
3.7.1.1	Skema satu relay terbaik	51
3.7.1.2	Skema dua relay terbaik	53
3.7.1.3	Skema tiga relay terbaik	56
3.7.1.4	Skema empat relay terbaik	59
3.8	Simulasi Bellhop	64
4	HASIL SIMULASI DAN ANALISA	
4.1	Parameter Simulasi	71
4.2	Analisa Hasil Sistem Komunikasi Kooperatif pada Kanal Bawah Air	72
4.2.1	Skema satu relay terbaik	76
4.2.2	Skema dua relay terbaik	77

4.2.3	Skema tiga relay terbaik	79
4.2.4	Skema satu relay terbaik	80
4.3	Analisa pengaturan urutan waktu transmisi <i>relay</i>	84
4.3.1	Skema satu relay terbaik	85
4.3.2	Skema dua relay terbaik	85
4.3.3	Skema tiga relay terbaik	86
4.3.4	Skema empat relay terbaik	87
5	PENUTUP	
5.1	Kesimpulan	89
5.2	Saran	89
	DAFTAR PUSTAKA	91
	LAMPIRAN	93
	RIWAYAT HIDUP	99



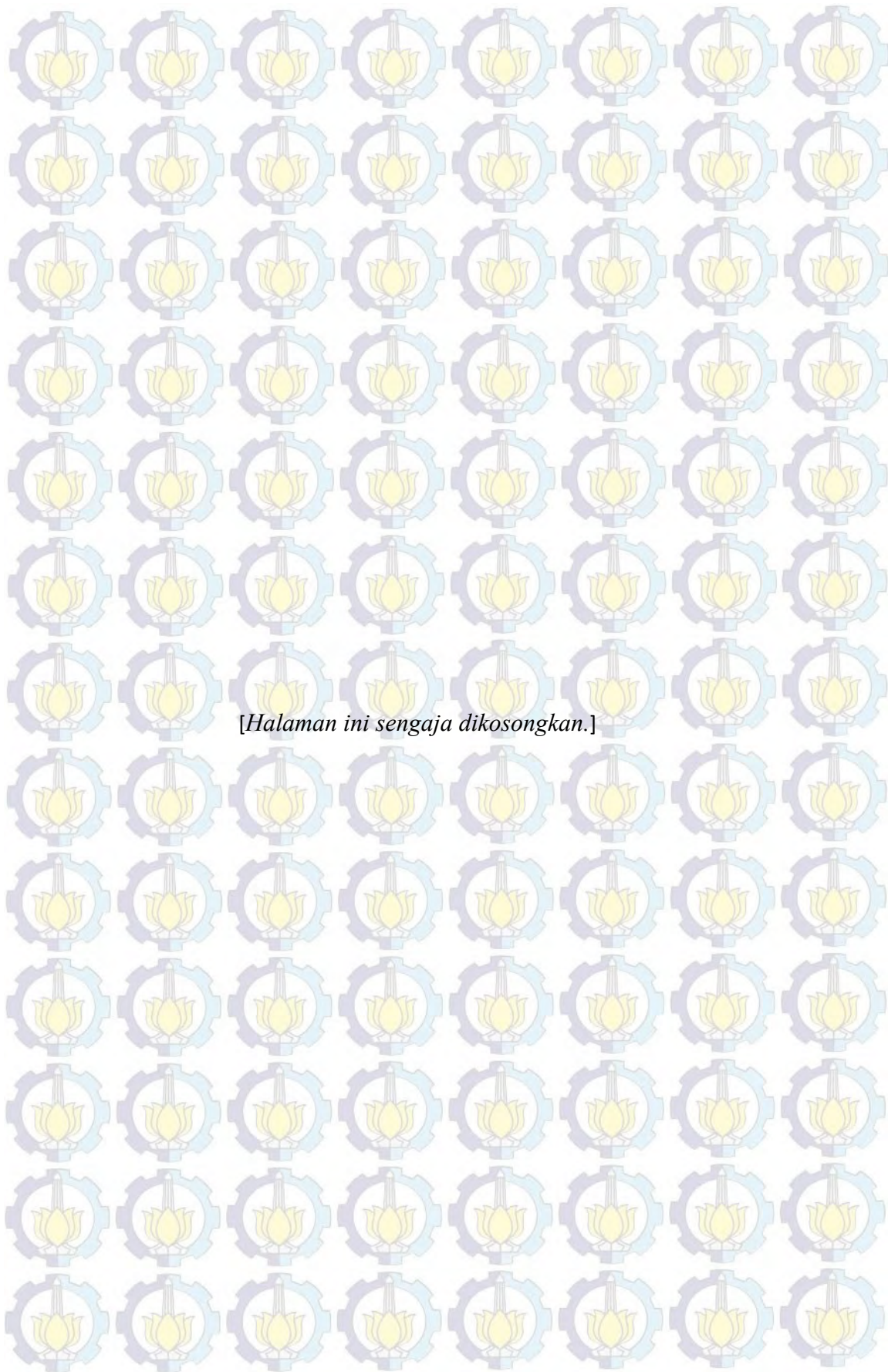
DAFTAR GAMBAR

2.1	<i>Cylindrical spreading</i> , (Lurton, 2002)	11
2.2	<i>Spherical spreading</i> , (Lurton, 2002)	12
2.3	Koefisien redaman pada bawah air saat temperatur 4°C di permukaan air (Etter, 2013)	14
2.4	<i>Narrow band</i> SNR Sumber: (Climent, 2014)	16
2.5	Profil <i>sound speed</i> dan <i>ray</i> diagram (Wang, 2011)	18
2.6	Diagram konstelasi untuk BPSK	21
2.7	Proses pembentukan sinyal BPSK	22
2.8	<i>Time slot</i> pada: a) sistem komunikasi non-kooperatif, b) sistem Komunikasi kooperatif	22
2.9	Sistem Komunikasi Kooperatif 1 <i>Relay</i>	23
2.10	Skema AF	24
2.11	Skema DF	28
2.12	Model <i>multipath</i> untuk perairan dangkal	29
2.13	Model sistem kanal akustik bawah air	29
2.14	Model kanal <i>relay</i>	30
3.1	Diagram alir proses penelitian	38
3.2	Blok diagram sistem <i>relay</i> AF kooperatif	39
3.3	Topologi sistem komunikasi bawah air	41
3.4	Deretan data bit	43
3.5	Skema Pemilihan <i>Relay</i>	47
3.6	Pembagian <i>frame</i> pada paket pilot dari <i>relay</i> ke <i>destination</i>	51
3.7	Pembagian <i>frame</i> paket perintah dari <i>destination</i> ke <i>relay</i> untuk satu <i>relay</i> terbaik	51
3.8	Skema pengaturan urutan waktu transmisi <i>relay</i> satu <i>relay</i> terbaik a) pengiriman paket data+pilot, b) pengiriman paket pilot, c) pengiriman	

paket perintah, d) pengiriman paket data satu <i>relay</i> terbaik	52
3.9 Pembagian <i>frame</i> pada <i>destination</i> untuk dua <i>relay</i> terbaik	53
3.10 Skema pengaturan urutan waktu transmisi <i>relay</i> dua <i>relay</i> terbaik a) pengiriman paket data+pilot, b) pengiriman paket pilot, c) pengiriman paket perintah, d) pengiriman paket data dua <i>relay</i> terbaik	54
3.11 Pembagian <i>frame</i> pada <i>destination</i> untuk tiga <i>relay</i> terbaik	56
3.12 Skema pengaturan urutan waktu transmisi <i>relay</i> tiga <i>relay</i> terbaik a) pengiriman paket data+pilot, b) pengiriman paket pilot, c) pengiriman paket perintah, d) pengiriman paket data tiga <i>relay</i> terbaik	57
3.13 Pembagian <i>frame</i> pada <i>destination</i> untuk empat <i>relay</i> terbaik	60
3.14 Skema pengaturan urutan waktu transmisi <i>relay</i> empat <i>relay</i> terbaik a) pengiriman paket data+pilot, b) pengiriman paket pilot, c) pengiriman paket perintah, d) pengiriman paket data empat <i>relay</i> terbaik	61
3.15 Lokasi simulasi kanal bawah air [maps.google.co.id]	65
3.16 Hubungan antara kedalaman air dan kecepatan suara	67
3.17 Plot <i>arrival</i> Bellhop	68
3.18 Plot <i>ray</i> Bellhop	69
4.1 Perbandingan teori dan simulasi pada kanal Rayleigh	774
4.2 Perbandingan skema kooperatif dengan <i>relay selection</i> dan tanpa <i>relay</i> <i>selection</i>	75
4.3 <i>Relay selection</i> dengan satu <i>relay</i> terbaik	76
4.4 <i>Relay selection</i> dengan dua <i>relay</i> terbaik	78
4.5 <i>Relay selection</i> dengan tiga <i>relay</i> terbaik	79
4.6 <i>Relay selection</i> dengan empat <i>relay</i> terbaik	81

DAFTAR TABEL

2.1	Perbandingan komunikasi akustik, radio, dan optik pada bawah air (Liu, 2008)	8
2.2	Ringkasan parameter dari algoritma <i>sound speed</i> (Etter, 2013)	10
3.1	Spesifikasi sistem komunikasi kooperatif	40
3.2	Pemetaan bit ke dalam simbol BPSK	43
3.3	Parameter pengaturan urutan waktu transmisi relay	50
3.4	Parameter simulasi pada Bellhop	64
3.5	Parameter lingkungan bawah air	66
4.1	Perbandingan BER pada teori dan simulasi Rayleigh	74
4.2	Perbandingan BER dengan <i>relay selection</i> dan tanpa <i>relay selection</i>	76
4.3	Perbandingan BER pada 1 <i>Selected relay</i>	77
4.4	Perbandingan BER pada 1 <i>Selected Relay</i> dan 2 <i>Selected Relay</i>	79
4.5	Perbandingan BER pada pada 1,2, dan 3 <i>Selected Relay</i>	80
4.6	Perbandingan BER pada semua <i>Selected Relay</i>	81
4.7	Perbandingan BER untuk teori ,simulasi, dan tanpa <i>relay selection</i>	82
4.8	Perbandingan BER untuk <i>Selected Relay</i>	83
4.9	Perbandingan waktu total rata-rata	84
4.10	Perbandingan total waktu di <i>destination</i> pada tiap skema <i>relay</i>	88



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknik komunikasi bawah air mengalami perkembangan yang pesat di beberapa dekade ini karena aplikasinya dalam penelitian kelautan, oseanografi, kelautan operasi komersial, industri minyak lepas pantai dan pertahanan [1]. Perbedaan utama antara jaringan terestrial radio nirkabel dan jaringan akustik bawah air adalah propagasi *delay* suara yang besar, *bandwidth* yang sangat terbatas, dan BER (*Bit Error Rate*) yang tinggi [1]. Pada gelombang elektromagnetik, terjadi penyerapan gelombang yang mengakibatkan peredaman yang cukup besar sehingga gelombang elektromagnetik hanya dapat berpindah pada jarak yang pendek. Pada sinyal optik, penyebaran dan penyerapan yang terjadi juga cukup besar dan sinyal optik hanya dapat berpindah pada lingkungan bawah air yang sangat bersih dari hambatan apapun. Sehingga pemilihan sinyal akustik yang digunakan di penelitian ini berdasarkan pertimbangan bahwa suara dapat berpindah melalui media air dengan baik jika dibandingkan dengan gelombang elektromagnetik dan sinyal optik [1].

Pada komunikasi bawah air, suara merambat dengan kecepatan yang rendah (sekitar 1500 m/s) jika dibandingkan dengan gelombang elektromagnetik. Hal inilah yang menyebabkan propagasi *delay* yang besar. Kanal akustik yang digunakan pada penelitian ini mempunyai atenuasi yang kuat dengan meningkatnya frekuensi yang menyebabkan *bandwidth* yang terbatas [2]. *Path loss* pada kanal akustik bergantung pada jarak dan frekuensi dari sinyal, *bandwidth*, serta daya yang diperlukan bergantung pada jarak *link* [3]. Kualitas dari kapasitas *relay* meningkat seiring dengan banyaknya *relay* yang digunakan [4], tetapi dengan kata lain, lebih banyak *node relay* juga akan menghabiskan banyak daya / energi [5].

Dengan banyaknya tantangan dalam merancang jaringan akustik bawah air dimana kanal ini sangat berbeda dengan kanal radio frekuensi, dibutuhkan teknik yang dapat mengatasi masalah ini [6]. Teknik yang digunakan yaitu komunikasi

kooperatif, yang menjanjikan kinerja yang signifikan dalam hal reliabilitas *link*, efisiensi spektrum dan kapasitas sistem. Konsep dari pemilihan *relay* dengan sistem kooperatif ini juga sudah banyak diaplikasikan dalam beberapa literatur [5], [7]-[9]. Kunci utama dari komunikasi kooperatif adalah untuk memproses sinyal yang diterima dari sumber yang diteruskan oleh *relay*. *Relay Decode and Forward* (DF) mendekodekan sinyal yang diterima kemudian mengkodekan kembali sinyalnya dan mentransmisikan ke penerima. *Relay Amplify-Forward* (AF) mentransmisikan sinyal yang dikuatkan tanpa proses mendekodekan sinyal ke penerima.

Tujuan menggunakan *relay* sebagai antena virtual pada transmisi kooperatif adalah untuk mengatasi efek lintasan jamak di penerima [10] sehingga *node* tujuan dapat dengan mudah menghindari interferensi ketika menerima sinyal transmisi yang berbeda dari *node relay* dan sumber. Tujuan lain yaitu, karena suara berpindah pada kecepatan yang sangat rendah di bawah air, maka *relay* diperlukan untuk meneruskan informasi dari sumber yang mungkin tidak sampai dengan sempurna ke tujuan. Sedangkan pemilihan *relay* yang terbaik ini digunakan untuk mengatasi permasalahan yang ada pada sistem komunikasi bawah air, seperti propagasi *delay* yang panjang dan efisiensi spektrum yang kecil, jadi dengan adanya pemilihan *relay* maka dapat menghemat *bandwidth* (efisiensi spektrum).

Untuk pemilihan *relay* pada penelitian ini, kriteria yang dipertimbangkan di antaranya yaitu pemaksimalan SNR, BER yang paling rendah dan waktu propagasi yang cepat. Skema AF digunakan pada penelitian yang diusulkan karena kompleksitasnya yang rendah dan meskipun *noise* juga dikuatkan bersamaan dengan sinyal, gain yang didapatkan pada AF lebih besar daripada DF (Decode and Forward) karena skema kooperatif tidak tergantung hanya dari keberhasilan decoding pada *relay* [11]. Selain itu, pada skema AF, karena *relay* langsung menguatkan sinyal informasi yang diterima, maka waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke *destination* pun lebih sedikit dibandingkan dengan skema DF. Karena pada skema DF, *relay*nya harus memproses sinyal informasi yang diterima terlebih dahulu. Pada penelitian ini, akan dilakukan simulasi

pemilihan *relay* terbaik dengan menggunakan *relay* AF pada jaringan akustik bawah air kooperatif.

Beberapa peneliti mengusulkan distribusi Rayleigh [8][9][12], nakagami [13], Rician[14], dan log-normal [15][16] adalah distribusi yang baik digunakan untuk propagasi *multipath* pada kanal bawah air. Berdasarkan dari literatur dan berbagai pertimbangan, pada penelitian ini akan digunakan model distribusi Rayleigh.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pemodelan skema *relay* untuk sistem komunikasi bawah air.
2. Bagaimana teknik pemilihan *relay* untuk mendapatkan kombinasi *relay* yang terbaik pada sistem komunikasi bawah air.
3. Bagaimana meningkatkan reliabilitas pada proses transmisi sistem komunikasi bawah air dengan menggunakan *relay* secara kooperatif.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan pemodelan skema *relay* pada sistem komunikasi bawah air.
2. Untuk mengetahui teknik pemilihan *relay* agar mendapatkan kombinasi *relay* yang terbaik pada sistem komunikasi bawah air.
3. Untuk meningkatkan reliabilitas pada proses transmisi sistem komunikasi bawah air dengan menggunakan *relay* secara kooperatif.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab R2015.
2. Informasi yang dibangkitkan sebanyak 1.000 bit.
3. Parameter yang digunakan dalam simulasi ini adalah nilai SNR, dan *bit error rate* yang rendah.
4. Simulasi sistem komunikasi akustik bawah air diasumsikan berada pada perairan dangkal.

5. *Relay* yang digunakan pada penelitian sebanyak 4 *node*.
6. Modulasi yang digunakan adalah modulasi BPSK (*Binary Phase Shift Keying*).
7. Analisa dilakukan dengan membandingkan BER terhadap E_b/N_0 pada berbagai skema *relay* terbaik.

1.5 Relevansi

Penelitian ini kedepannya diharapkan dapat memberikan kontribusi untuk aplikasi sistem komunikasi bawah air dengan memanfaatkan teknik komunikasi kooperatif untuk pemilihan *relay* terbaik dengan kriteria tertentu.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam Tesis ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, relevansi, dan sistematika penulisan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan pustaka yang akan menunjang pembuatan simulasi pada bab selanjutnya. Adapun pada tinjauan pustaka ini akan dijelaskan mengenai sistem komunikasi akustik bawah air (*sound speed*, atenuasi/redaman, *noise*, kanal multipath), modulasi yang digunakan (BPSK), sistem komunikasi kooperatif (skema AF (*Amplify and Forward*) dan DF (*Decode and Forward*), pemodelan kanal akustik bawah air, dan teknik *combining* EGC(*Equal gain combining*), SC (*Selective Combining*), dan MRC (*Maximum Ratio Combining*).

BAB 3 : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai metode penelitian. Bagian ini berisi proses pembuatan simulasi mulai dari rancangan penelitian, gambaran sistem, penerapan sistem komunikasi kooperatif, pemodelan kanal bawah air, pembangkitan data

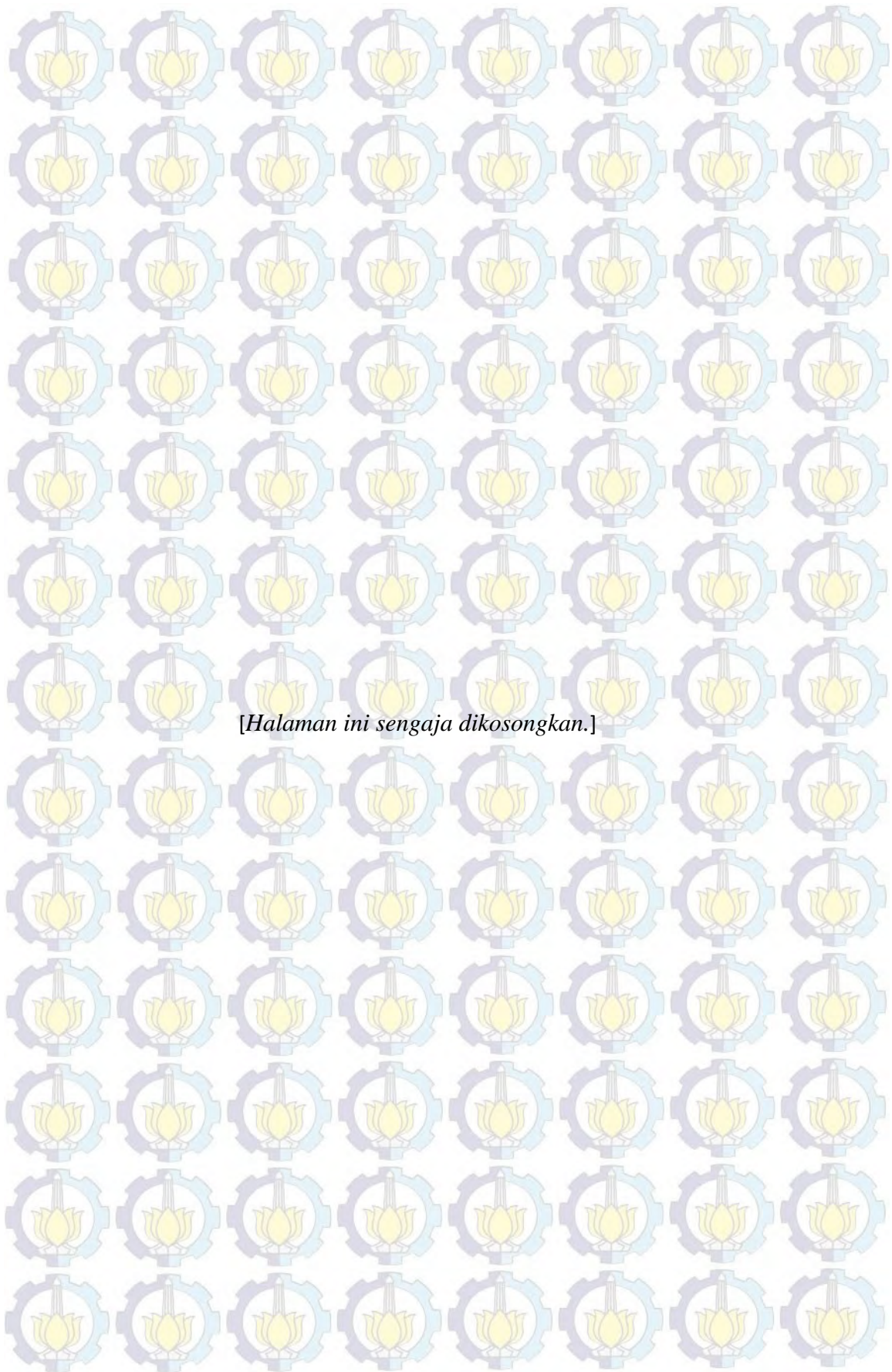
secara acak, modulasi BPSK, parameter kondisi kanal bawah air, model pergerakan *node*, perhitungan BER, skema pemilihan *relay* berdasarkan parameter, pengaturan urutan waktu transmisi *relay* (berdasarkan skema satu, dua, dan 3 *relay* terbaik), dan data pendukung (simulasi Bellhop).

BAB 4 : HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan tentang hasil simulasi yang diperoleh serta analisa kinerja dari hasil simulasi. Bagian ini berisi analisa dari hasil simulasi kanal bawah air, analisa hasil sistem komunikasi kooperatif pada kanal bawah air, perbandingan hasil BER berdasarkan E_b/N_0 pada tiap kondisi *relay* terbaik, serta pengaturan urutan waktu transmisi *relay*.

BAB 5 : PENUTUP

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil yang telah diperoleh dan saran yang layak dilakukan bila penelitian ini dilanjutkan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Komunikasi Akustik Bawah Air

Karakteristik sinyal akustik berbeda dengan karakteristik gelombang elektromagnetik. Pada gelombang elektromagnetik, terjadi penyerapan gelombang yang mengakibatkan peredaman yang cukup besar sehingga gelombang elektromagnetik hanya dapat berpindah pada jarak yang pendek. Pada sinyal optik, penyebaran dan penyerapan yang terjadi juga cukup besar dan sinyal optik hanya dapat berpindah pada lingkungan bawah air yang harus sangat bersih dari hambatan apapun. Karena alasan inilah gelombang elektromagnetik dan sinyal optik tidak cocok untuk digunakan pada komunikasi bawah air karena jika dibandingkan dengan sinyal akustik, gelombang elektromagnetik dan sinyal optik tidak bisa mencapai jarak transmisi yang jauh dan redamannya sangat besar, meskipun pada sinyal akustik *bandwidth* dan kecepatannya terbatas.

Bandwidth pada kanal akustik bawah air terbatas dan sangat tergantung dari jarak dan frekuensinya. Kecepatan propagasi pada kanal akustik bawah air lebih lambat daripada kanal radio, yaitu hanya 1500 m/s sedangkan pada kanal radio 3×10^8 m/s. Kecepatan propagasi suara yang rendah inilah yang menyebabkan propagasi *delay* yang besar. Karena menggunakan baterai, hal ini dapat mengakibatkan turunnya reliabilitas sistem, sebab penggunaan baterai berkaitan dengan efisiensi energi, dimana efisiensi energi adalah karakteristik yang diperlukan untuk jaringan bawah air.

Berikut beberapa tantangan dari komunikasi akustik bawah air [1],[17]:

- Kecepatan propagasi suara yang rendah yang menyebabkan propagasi *delay* yang besar untuk komunikasi akustik bawah air.
- Daya baterai yang terbatas dan biasanya baterai tidak dapat diisi ulang, juga karena energi surya tidak dapat dimanfaatkan sehingga harus mendesain node yang efisien dalam penggunaan energi.
- *Bandwidth* yang tersedia sangat terbatas dan bergantung pada jarak transmisi.

- Karakteristik kanal, termasuk penundaan propagasi yang panjang dan variabel, efek *multipath* dan masalah *fading*.
- Tingkat kesalahan bit yang tinggi (*bit error rate*).
- Sensor bawah laut yang rentan terhadap korosi (karena sensor diletakkan di dalam air).

Gelombang radio (elektromagnetik) dan komunikasi optik tidak bekerja dengan baik pada lingkungan bawah air yang dalam (*deep water*). Dengan demikian, komunikasi akustik banyak dipilih di lingkungan bawah air yang dalam karena redaman suaranya yang rendah pada bawah air. Pada Tabel 2.1 berikut ini adalah tabel perbandingan karakteristik dari akustik, gelombang radio, dan komunikasi optik di bawah air [17][18].

Tabel 2.1 Perbandingan komunikasi akustik, radio, dan optik pada bawah air (Liu, 2008)

Parameter	Akustik	Radio	Optik
Kecepatan propagasi	1500 m/s	3×10^8 m/s	3×10^8 m/s
Power loss	<0.1 dB/m/Hz	~28 dB/km/100 MHz	Turbidity
Bandwidth	~kHz	~Mhz	~10-150 MHz
Ukuran antena	~0.1 m	~0.5 m	~0.1 m
Frequency band	~kHz	~MHz	$\sim 10^{14}$ - 10^{15} MHz
Jarak transmisi	~50 m - 50 km	~1 m – 100 m	1 m – 100 m

2.1.1 Sound speed

Kecepatan propagasi suara di bawah air tidak konstan dan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu temperatur air, salinitas, dan *pressure (depth range)*. Dari beberapa referensi yang terdapat pada [5][7][10][13][19], formula untuk *sound speed* (kecepatan suara) yang dipengaruhi oleh faktor temperatur air, salinitas, dan *pressure (depth range)* yang sering digunakan adalah formula dari Coppens, Mackenzie, dan Ude. Berdasarkan masing-masing formula tersebut, formula Mackenzie diambil sebagai contoh karena beberapa pertimbangan dari

temperatur air, salinitas, dan *pressure* yang terdapat pada Tabel 2.1. Berikut formula dari Mackenzie.

$$c = 1448.96 + 4.591T - 5.304 \times 10^{-2} T^2 + 2.374 \times 10^{-4} T^3 + 1.340(S - 35) + 1.630 \times 10^{-2} D + 1.675 \times 10^{-7} D^2 - 1.025 \times 10^{-2} T(S - 35) - 7.139 \times 10^{-13} TD^3 \quad (2.1)$$

dimana c adalah kecepatan suara pada air laut (m/s), T adalah temperatur air ($^{\circ}\text{C}$), S adalah salinitas (‰), dan D adalah kedalaman (m). Dari [18], sebagian besar perubahan kecepatan suara di permukaan laut disebabkan oleh perubahan temperatur. Suara akan berpindah lebih cepat pada temperatur yang lebih hangat dan berpindah lebih lambat pada temperatur yang lebih dingin. Untuk setiap kenaikan temperatur air $\pm 1^{\circ}\text{C}$, kecepatan suara pada bawah air meningkat sebesar 4 m/s. Ketika salinitas meningkat sebesar 1 PSU (*Practical Salinity Unit*), kecepatan suara pada bawah air meningkat sebesar 1.4 m/s. Sedangkan ketika kedalaman air (dalam hal ini juga tekanan) bertambah kedalamannya 1 km, kecepatan suara pada bawah air meningkat sebesar 17 m/s. Penelitian ini hanya untuk menggambarkan kuantitatif secara kasar dan keberagaman kecepatan suara yang diberikan pada umumnya tidak linear.

Dari [10], berdasarkan pengamatan yang sudah dilakukan, didapatkan bahwa salinitas di laut terbuka biasanya kecil dan karena hal ini maka salinitas tidak terlalu berpengaruh pada kecepatan suara. Akan tetapi di daerah pesisir, daerah dekat sungai atau es, asumsi ini umumnya tidak valid. Velocimeter, alat yang mengukur kecepatan suara secara langsung dalam hal waktu tempuh suara melalui jalur yang tetap, lebih dipilih daripada asumsi ini. Jadi, untuk kondisi laut terbuka, kecepatan suara dapat dihitung melalui perhitungan dari Tabel 2.1. Tetapi untuk daerah pesisir, dekat sungai, atau es, pengukuran kecepatan suara lebih dipilih dengan menggunakan velocimeter. Berikut adalah tabel dari beberapa formula untuk *sound speed* yang tiap formulanya memiliki rentang temperatur, salinitas, dan tekanan (atau kedalaman) masing-masing.

Tabel 2.2 Ringkasan parameter dari algoritma *sound speed* (Etter, 2013)

Referensi	Temperatur (°C)	Salinitas (ppt)	Tekanan (kedalaman)	Standard Error (m/s)	Number of Terms
Wilson (1960)	-4-30	0-37	1 - 1000 kg/cm ²	0.30	23 terms
Leroy (1969)	-2-34	20-42	0 - 8000 m	0.2	13 terms
Frye & Pugh (1971)	-3-30	33.1- 36.6	1.033 - 984.3 kg/cm ²	0.10	12 terms
Del Grosso (1974)	0-35	29-43	0 - 1000 kg/cm ²	0.05	19 terms
Medwin (1975)	0-35	0-45	0 - 1000 m	~0.2	6 terms
Chen & Millero (1977)	0-40	5-40	0 - 1000 bar	0.19	15 terms
Lovett (1978)	0-30	30-37	0 - 10,000 dbars	0.063	13 terms
Coppens (1981)	-2-35	0-42	0 - 4000 m	0.1	8 terms
Mackenzi e (1981)	-2-30	25-40	0 - 8000 m	0.07	9 terms
Leroy et al. (2008)	-1-30	0-42	0 - 12,000 m	0.2	14 terms

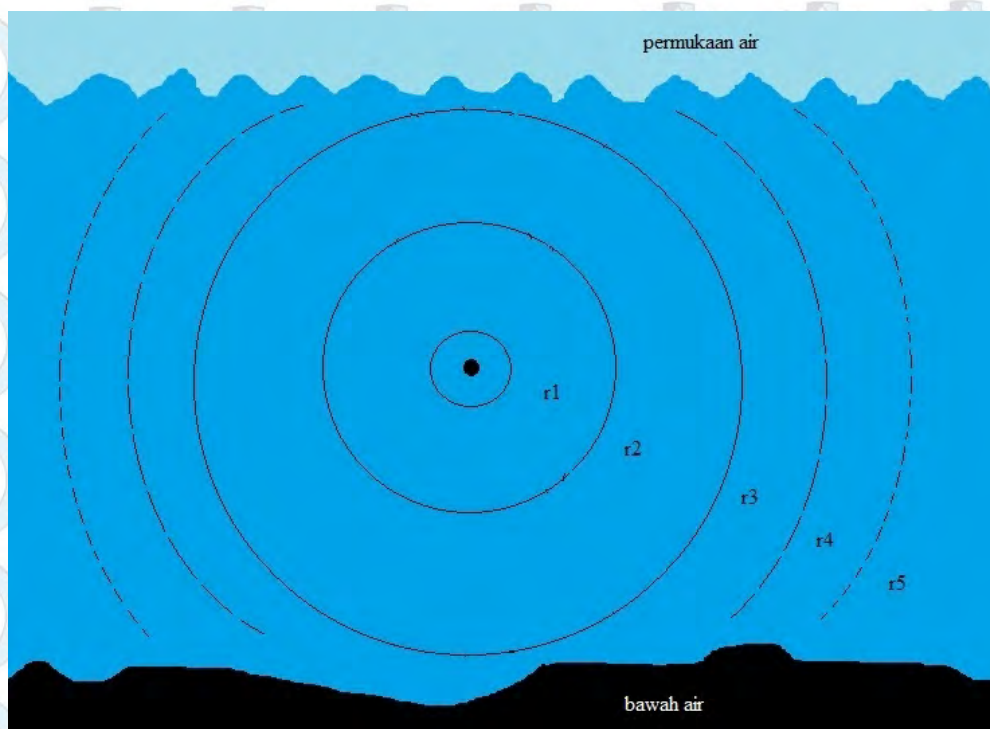
2.1.2 Atenuasi (Redaman)

Karakteristik propagasi akustik terdiri dari 3 faktor utama yaitu atenuasi, *multipath*, dan *sound speed*. Propagasi akustik bekerja dengan baik pada frekuensi

rendah, walaupun *bandwidth* yang tersedia kecil yaitu 5 kHz. Sinyal suara yang melalui medium air akan mengalami *delay*, *distorsi* dan atenuasi. Atenuasi dipengaruhi oleh panjang jalur transmisi dan juga frekuensi. Sifat yang paling berbeda dari kanal akustik adalah *path loss* karena tergantung pada frekuensi sinyal sebagai konsekuensi dari *absorption*.

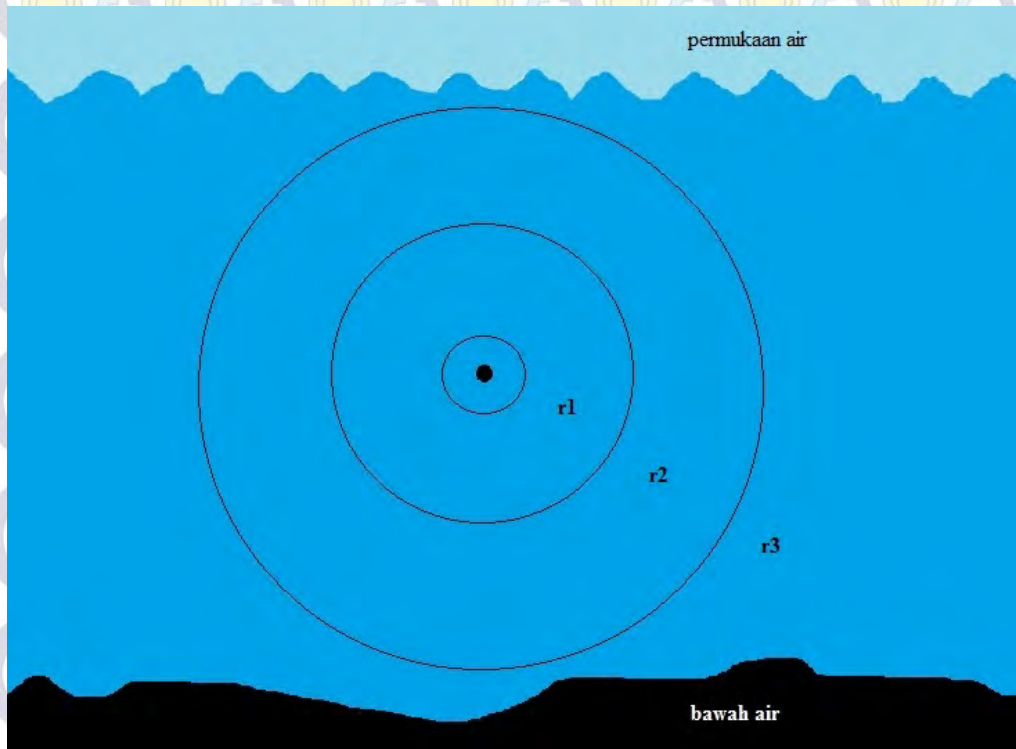
Secara umum, rugi-rugi transmisi selama propagasi suara bawah air disebabkan oleh *geometric spreading* (penyebaran geometris), redaman, dan redaman lain yang berkaitan dengan rugi-rugi. Pada penyebaran geometris ada dua jenis *spreading* yaitu *spherical* dan *cylindrical*. Bergantung pada batas spasial bawah air, *spreading loss* dapat dimodelkan sebagai *spherical* dan *cylindrical*, sesuai dengan jarak propagasi [7].

Pada *shallow water* terdapat penyebaran geometris jenis *cylindrical spreading*. Karena *cylindrical spreading* berada pada kondisi perairan dangkal, saat gelombang menabrak permukaan dan dasar air, maka daya akan dipantulkan kembali ke air [20]. Gambar 2.1 berikut ini adalah gambar penyebaran geometris jenis *cylindrical spreading* pada bawah air.



Gambar 2.1 *Cylindrical spreading* [20]

Sedangkan pada *deep water* terdapat penyebaran geometris jenis *spherical spreading*. Karena *spherical spreading* berada pada kondisi perairan dalam maka tidak ada daya yang hilang dari gelombang karena atenuasi [20]. Gambar 2.2 berikut ini adalah gambar penyebaran geometris jenis *cylindrical spreading* pada bawah air



Gambar 2.2 *Spherical spreading* [20]

Path loss untuk gelombang akustik bawah air [3]:

$$10 \log A(l, f) / A_0 = k \cdot 10 \log l + l \cdot 10 \log a(f) \quad (2.2)$$

dimana A : atenuasi (dB)
 f : frekuensi (kHz)
 l : jarak *source* ke *destination* (m)
 α : koefisien *absorption* (dB/kiloyards)
 k : model dari *spreading loss*

Model dari *spreading loss* ini biasanya bernilai antara 1 dan 2. Untuk laut dangkal (*shallow water*) (kedalaman < 200 m) diasumsikan penyebaran sinyal akustik membentuk geometri tabung (*cylindrical spreading*) dan mempunyai nilai $k=1$ sedangkan untuk laut dalam (*deep water*) diasumsikan penyebaran sinyal akustiknya membentuk geometri bola (*spherical spreading*) dan mempunyai nilai $k=2$. Hal ini biasa dimodelkan juga dengan formula Thorp [3]:

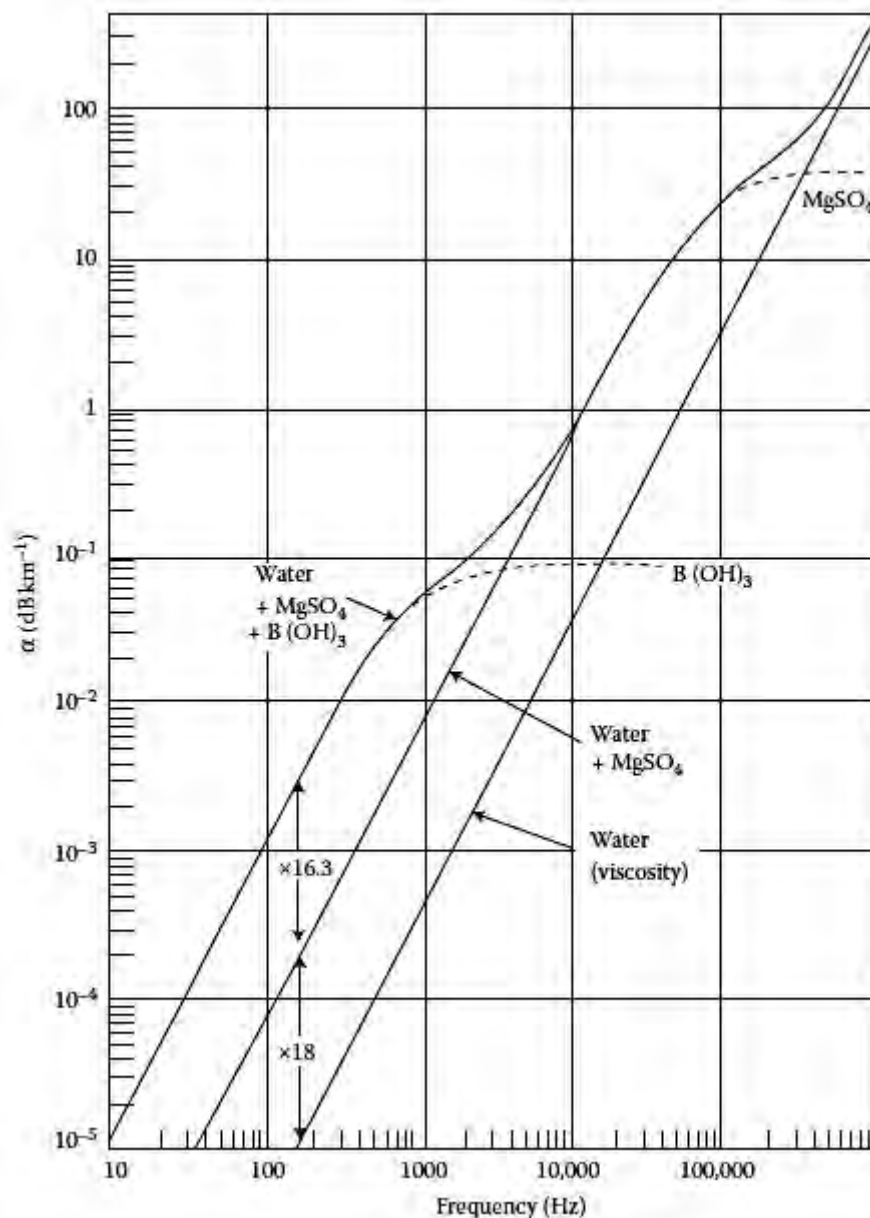
$$\alpha = \frac{0.1f^2}{1+f^2} + \frac{40f^2}{4100+f^2} + 2.75 \times 10^{-4} f^2 + 0.003 \quad (2.3)$$

dimana α : koefisien absorpsi dalam dB/kiloyards

f : frekuensi dalam kHz (berlaku untuk $f \geq 0.4$ kHz)

Dari [10], pada prakteknya, efek penyerapan dan atenuasi dipertimbangkan secara bersamaan. Ketergantungan frekuensi dapat dipisahkan menjadi empat bagian frekuensi yang berbeda. Keempat bagian ini yaitu *large scale scattering*, relaksasi asam borat, relaksasi magnesium sulfat, dan *viscosity* (kekentalan). Penyerapan bergantung pada pH dari relaksasi asam borat. Atenuasi pada frekuensi yang rendah di bawah air bergantung pada pH. Semakin tinggi nilai pH, maka semakin besar atenuasinya. Karena kondisi pada laut lebih asam (pH lebih rendah) disebabkan oleh bertambahnya emisi CO₂ (karbon dioksida), maka atenuasi akan semakin berkurang. Gelombang suara pada frekuensi yang rendah akan berpropagasi lebih jauh.

Secara berturut-turut, definisi pada Gambar 2.3 berikut ini, MgSO₄ adalah magnesium sulfat dan B (OH)₃ adalah asam borat. Garis putus-putus pada Gambar 2.3 mengindikasikan kontribusi tingkat penyerapan karena proses relaksasi. Gambar 2.3 berikut ini adalah koefisien redaman pada bawah air saat temperatur 4° C di permukaan air yang menunjukkan keempat frekuensi yang berbeda seperti penjelasan sebelumnya yaitu *large scale scattering*, relaksasi asam borat, relaksasi magnesium sulfat, dan *viscosity* (kekentalan).



Gambar 2.3 Koefisien redaman pada bawah air saat temperatur 4° C di permukaan air [10]

2.1.3 Noise

Noise lingkungan pada lingkungan bawah air dipengaruhi oleh beberapa sumber yaitu turbulensi, *shipping*, *wind* (angin), dan *thermal noise*. Sebagian besar dari sumber *noise* lingkungan dapat dijelaskan oleh statistik Gaussian dan *power spectral density* (p.s.d.) yang kontinu. Berikut ini adalah formula *empiric* dari empat komponen *noise* dalam dB [3][17]:

$$\begin{aligned}
10 \log N_t(f) &= 17 - 30 \log f \\
10 \log N_s(f) &= 40 + 20(s - 0.5) + 26 \log f - 60 \log(f + 0.03)
\end{aligned} \tag{2.4}$$

$$10 \log N_w(f) = 50 + 7.5w^{1/2} + 20 \log f - 40 \log(f + 0.4)$$

$$10 \log N_{th}(f) = -15 + 20 \log f$$

dimana, N_t : *noise turbulence* (dB)

N_s : *noise shipping* (dB)

N_w : *noise wind* (dB)

N_{th} : *noise thermal* (dB)

f : frekuensi (kHz)

w : kecepatan angin (m/s)

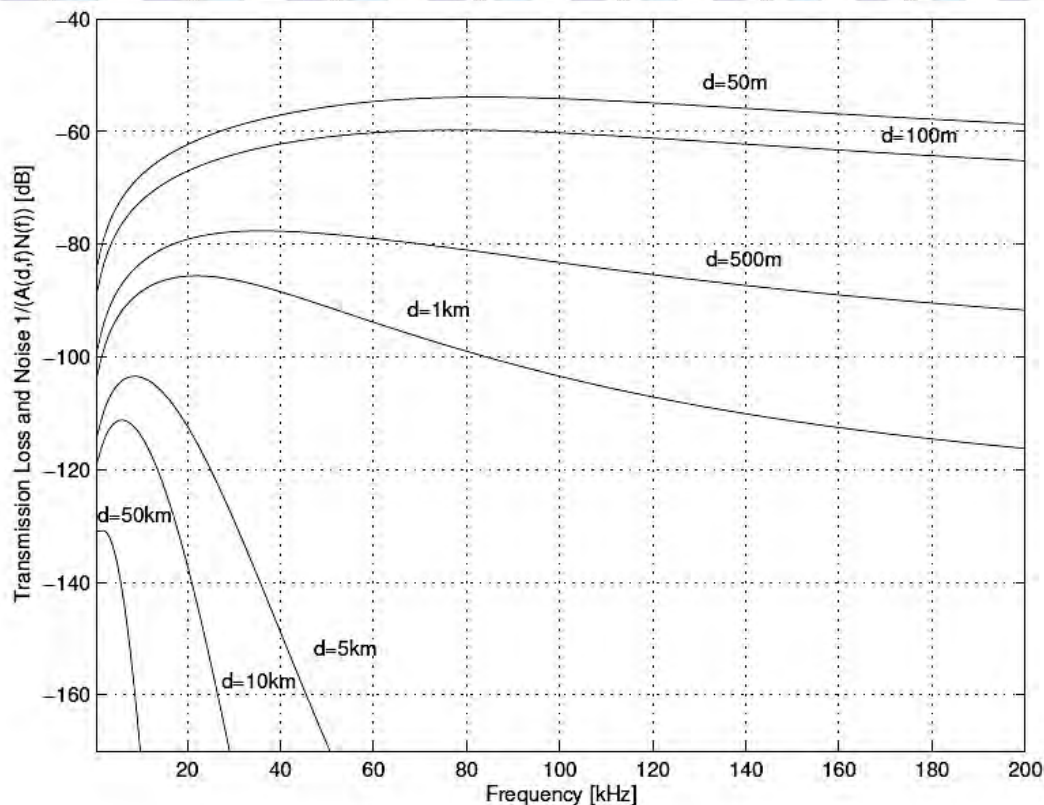
Noise turbulence hanya mempengaruhi area frekuensi rendah ($f < 10$ Hz).

Noise yang disebabkan oleh *shipping* mendominasi pada area 10 – 100 Hz.

Pergerakan di permukaan laut, yang disebabkan oleh angin memiliki faktor kontribusi yang besar pada area frekuensi 100 Hz – 100 kHz (dimana area ini banyak digunakan oleh sebagian besar sistem akustik). Lalu, *thermal noise* mendominasi pada area $f > 100$ kHz. Untuk total *noise* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$N(f) = N_t(f) + N_s(f) + N_w(f) + N_{th}(f) \tag{2.5}$$

Berdasarkan pada [21], keseluruhan efek dari atenuasi dan kerapatan *noise* dapat diklasifikasikan sebagai *narrow band* SNR untuk jarak dan frekuensi yang berbeda. Gambar 2.4 mengilustrasikan *narrow band* SNR untuk memperkirakan frekuensi yang optimal. Daerah yang lebih luas (≥ 50 km) dicakup dengan frekuensi akustik yang rendah yaitu dibawah 10 kHz, sedangkan untuk daerah yang sempit dengan jarak yang lebih pendek (100 m – 10 km) dicakup dengan frekuensi akustik yang besar yaitu diatas 20 kHz.



Gambar 2.4 Narrow band SNR [21]

2.1.4 Kanal Multipath

Sinyal yang diterima oleh *destination* merupakan jumlah dari keseluruhan sinyal yang dipantulkan akibat lintasan jamak (*multipath*). Hal ini menyebabkan kuat sinyal yang diterima oleh *destination* akan bervariasi dengan cepat, dan terjadi fenomena sinyal *fading* yang cepat (*short term fading*). Pada terestrial, karena rendahnya posisi antena *mobile station* dan adanya struktur bangunan yang mengelilingi *mobile station*, menyebabkan fluktuasi yang cepat pada penjumlahan sinyal-sinyal *multipath*. Hal ini berdasarkan distribusi statistik yang disebut distribusi Rayleigh dan dikenal dengan Rayleigh *fading*. *Fading* yang terjadi secara lambat akibat pengaruh efek bayangan dari berbagai halangan disebut dengan *fading* lambat (*shadowing*). *Fading* ini mengakibatkan fluktuasi level daya yang diterima selama *mobile station* bergerak.

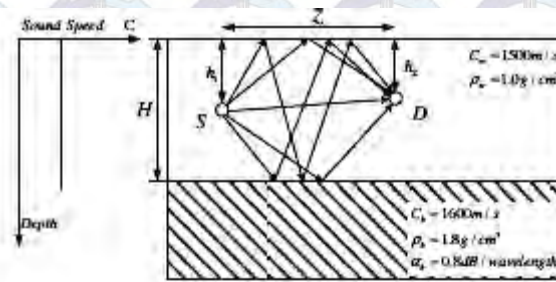
Panjang lintasan dan perlakuan perlambatan gelombang yang berbeda-beda mengakibatkan sinyal-sinyal *multipath* sampai pada penerima dengan *delay*

yang bervariasi. Sebuah impuls yang dikirimkan oleh pemancar akan diterima oleh penerima bukan lagi sebuah impuls melainkan sebuah pulsa dengan lebar penyebaran yang disebut *delay spread*. *Delay spread* ini dapat menimbulkan interferensi antar simbol, karena setiap simbol akan saling bertumbukan dengan simbol sebelum dan sesudahnya. Level interferensi antar simbol ini ditentukan oleh kecepatan transmisi bit. Jadi kecepatan transmisi bit atau simbol pada sistem komunikasi bergerak digital dibatasi oleh *delay spread*.

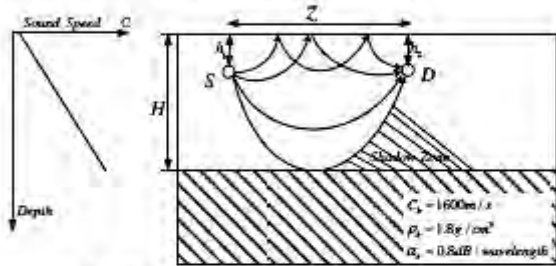
Berdasarkan pada [19], kanal *multipath* pada sistem komunikasi bawah air memiliki karakteristik yang sama dengan propagasi gelombang elektromagnetik. *Multipath* menyebabkan penerima memperoleh sinyal pada waktu yang berbeda-beda. *Multipath* disebabkan oleh dua faktor yaitu pemantulan suara di permukaan, dasar laut dan beberapa objek lain dan pembiasan suara dalam air. Informasi yang sampai pada penerima dapat melalui *direct path* atau *line of sight* (LOS) dan *indirect path* (sinyal yang datang ke penerima tidak secara langsung) berupa *refleksi* (pantulan), *difraksi* yaitu terjadi saat sinyal yang dipancarkan terhalang oleh permukaan yang tajam dan kecil, dan *scattering* (hamburan) yaitu pemantulan dari segala arah.

Kanal bawah air dibedakan menjadi dua jenis yaitu *deep water* dan *shallow water*. Pada *shallow water*, tingkat *losses* nya lebih rendah daripada *deep water*. Pada *shallow water*, *multipath* terjadi karena sinyal memantul kembali ketika mengenai permukaan air dan permukaan batas dari *deep water*. Sedangkan pada *deep water*, adanya tekanan air pada *deep water* sangat tinggi sehingga menyebabkan transmisi sinyal akan terus dipantulkan seolah-olah sinyal selalu terlihat membengkok. Pada *shallow water*, kedalamannya kurang dari 200 meter, yang berarti merepresentasikan sekitar 7,5 % dari total area laut [10].

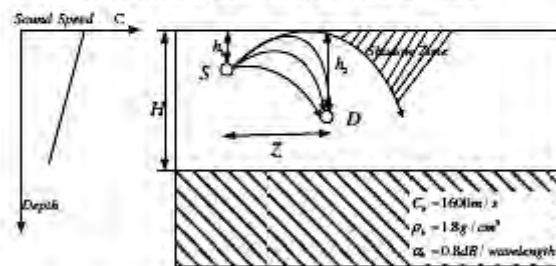
Pada Gambar 2.5 berikut ini merupakan profil *sound speed* dimana C_w adalah *sound speed* dalam m/s, ρ_w adalah power density dalam g/cm^2 , ρ_b adalah kerapatan (*density*) di dasar air dalam g/cm^2 , dan α_b adalah koefisien redaman pada media dasar air dalam dB/*wavelength* [13].



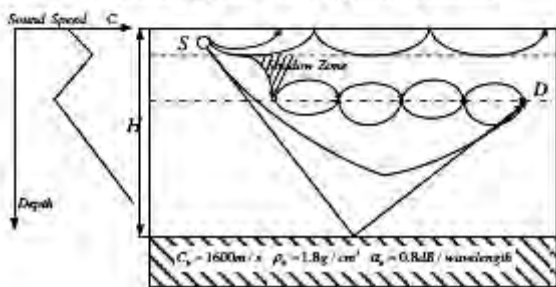
(a) Constant Sound Speed



(b) Sound Speed with Positive Gradient



(c) Sound Speed with Negative Gradient



(d) Layered Sound Speed

Gambar 2.5 Profil *sound speed* dan diagram *ray* [13]

2.2 Modulasi

Modulasi merupakan proses penumpangan sinyal informasi ke dalam sinyal pembawa. Tujuan modulasi adalah untuk mengubah bentuk sinyal ataupun mengubah frekuensi kerjanya agar dapat bekerja dan ditransmisikan pada suatu medium. Modulasi dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu modulasi analog dan modulasi digital. Perbedaan dari kedua modulasi ini terletak pada sinyal informasi

yang dikirimkan. Sinyal informasi dari modulasi analog berupa sinyal analog sedangkan modulasi digital berupa sinyal digital dan salah satu jenis modulasi digital yaitu *Binary Phase-Shift Keying* (BPSK). Dalam modulasi fasa digital, M buah sinyal direpresentasikan sebagai berikut [22]:

$$\begin{aligned} S_m(t) &= \operatorname{Re} \left[g(t) e^{j \frac{2\pi(m-1)}{M}} e^{j 2\pi f_c t} \right], m = 1, 2, \dots, M \\ &= g(t) \cos \left[2\pi f_c t + \frac{2\pi}{M} (m-1) \right] \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$= g(t) \cos \left(\frac{2\pi}{M} (m-1) \right) \cos 2\pi f_c t - g(t) \sin \left(\frac{2\pi}{M} (m-1) \right) \sin 2\pi f_c t$$

dimana $g(t)$ merupakan sinyal pulsa dan $\theta_m = \frac{2\pi(m-1)}{M}, m = 1, 2, \dots, M$ adalah nilai fase M dari sinyal *carrier*. Modulasi fasa digital disebut juga *phase-shift keying* (PSK). Sinyal modulasi ini memiliki energi yang sama pada setiap gelombang sinyalnya, sehingga diperoleh :

$$\varepsilon_{avg} = \varepsilon_m = \frac{1}{2} \varepsilon_g \quad (2.7)$$

Energi rata – rata untuk transmisi dari 1 *bit* informasi adalah :

$$\varepsilon_{bavg} = \frac{\varepsilon_g}{2 \log_2 M} \quad (2.8)$$

Pada kasus ini notasi ε_{avg} dan ε_{bavg} diganti menjadi ε dan ε_b . Untuk sinyal $g(t) \cos 2\pi f_c t$ dan $g(t) \sin 2\pi f_c t$ saling *orthogonal* sehingga $\phi_1(t)$ dan $\phi_2(t)$ diberikan sebagai berikut :

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_g}} g(t) \cos 2\pi f_c t \quad (2.9)$$

$$\phi_2(t) = -\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_g}} g(t) \sin 2\pi f_c t \quad (2.10)$$

Persamaan (2.9) dan (2.10) ini kemudian disubstitusi ke persamaan (2.6) sebagai berikut :

$$S_m(t) = \sqrt{\frac{\varepsilon_g}{2}} \cos\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \phi_1(t) + \sqrt{\frac{\varepsilon_g}{2}} \sin\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \phi_2(t) \quad (2.11)$$

Vektor sinyal ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$S_m = \left(\sqrt{\frac{\varepsilon_g}{2}} \cos\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right), \sqrt{\frac{\varepsilon_g}{2}} \sin\left(\frac{2\pi}{M}(m-1)\right) \right), m = 1, 2, \dots, M \quad (2.12)$$

Jarak *Euclidean* (d_{mn}) antara titik – titik sinyal adalah :

$$d_{\min} = \sqrt{\|S_m - S_n\|^2} = \sqrt{\varepsilon_g \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{M}(m-n)\right) \right]} \quad (2.13)$$

Jarak minimum dengan $|m - n| = 1$ diperoleh :

$$d_{\min} = \sqrt{\varepsilon_g \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{M}\right) \right]} = \sqrt{2\varepsilon_g \sin^2 \frac{\pi}{M}} \quad (2.14)$$

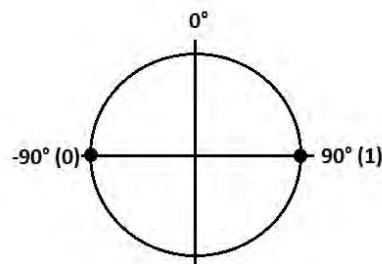
Dari persamaan (2.8) nilai ε_g kemudian disubstitusikan ke persamaan (2.14) sehingga diperoleh :

$$d_{\min} = 2\sqrt{\left(\log_2 M \times \sin^2 \frac{\pi}{M}\right) \varepsilon_b} \quad (2.15)$$

Untuk nilai M yang besar maka $\sin \frac{\pi}{M} \approx \frac{\pi}{M}$, sehingga diperoleh nilai d_{\min} dengan pendekatan berikut :

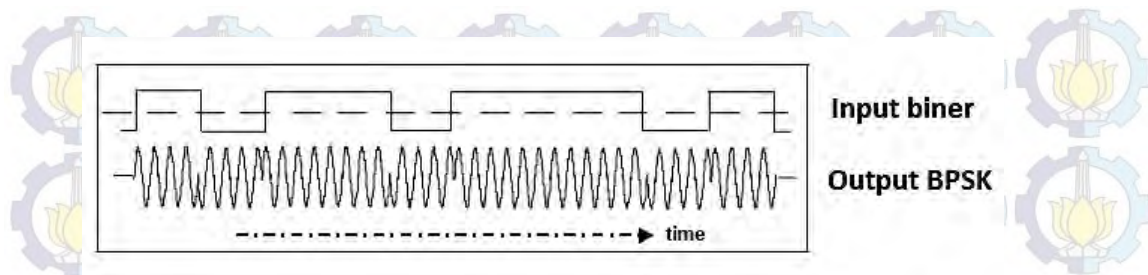
$$d_{\min} = 2\sqrt{\frac{\pi^2 \log_2 M}{M^2} \varepsilon_b} \quad (2.16)$$

Dimisalkan logika sinyal input 1 adalah 90° dan logika sinyal input 0 adalah -90° . Maka, diagram konstelasi BPSK untuk contoh tersebut adalah sebagai berikut. Gambar 2.6 menunjukkan diagram konstelasi BPSK (*binary PSK*, $M=2$) dengan sinyal satu dimensi.



Gambar 2.6 Diagram konstelasi untuk BPSK

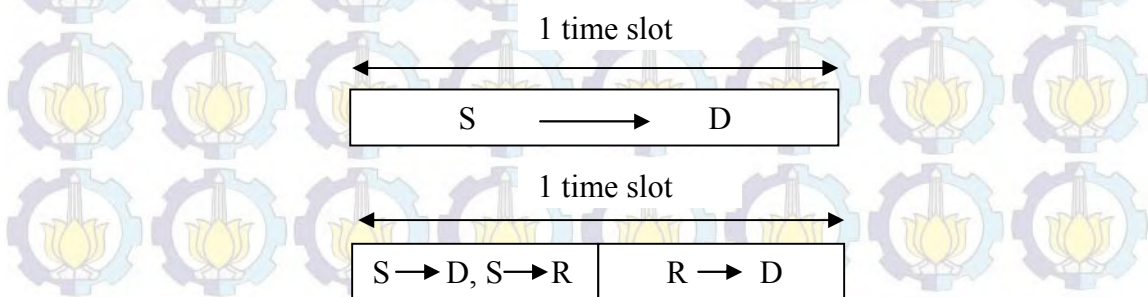
Gambar 2.7 adalah proses pembentukan sinyal BPSK dengan input berupa biner 01100 dan output dari modulator BPSK menghasilkan sinyal yang termodulasi.



Gambar 2.7 Proses pembentukan sinyal BPSK

2.3 Sistem Komunikasi Kooperatif

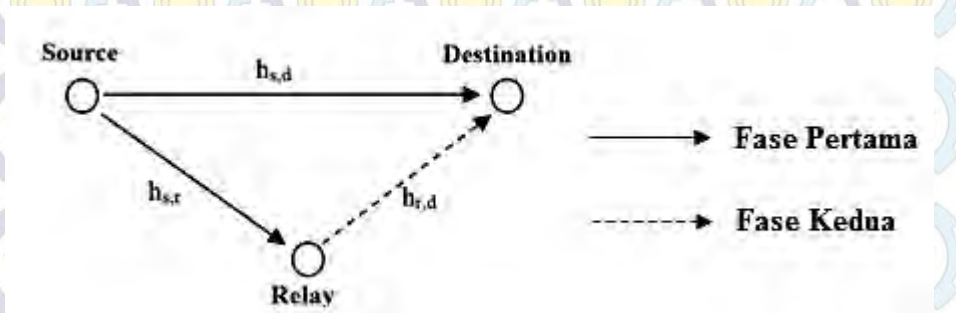
Sistem komunikasi kooperatif adalah suatu bentuk komunikasi yang mengirimkan sinyal ke tujuan dengan menggunakan *relay (user)* lain. Dengan menggunakan bantuan dari *relay* ini, dapat dikombinasikan kanal yang paling baik yang ditentukan oleh penerima. Masing-masing kondisi kanal merupakan kanal yang saling independen satu sama lain [11]. Perbandingan antara sistem komunikasi kooperatif dan sistem komunikasi non-kooperatif terlihat dari total alokasi *transmission ratenya*. Gambar 2.8 berikut ini adalah ilustrasinya.



Gambar 2.8 *Time slot* pada: a) sistem komunikasi non-kooperatif, b) sistem komunikasi kooperatif

Dari gambar ini, dapat dilihat *transmission rate* dari masing-masing sistem komunikasi. Untuk sistem komunikasi non-kooperatif, laju transmisinya disimbolkan R , sedangkan untuk sistem komunikasi kooperatif laju transmisinya sebesar $2R$ jadi laju transmisinya lebih cepat. Tapi dari sisi *bandwidth*, sistem komunikasi kooperatif membutuhkan *bandwidth* dua kali lipat dari sistem komunikasi non-kooperatif.

Berikut adalah gambar dari sistem komunikasi kooperatif. Dimana terdapat 2 fase, fase yang pertama dari *source* (S) akan mengirimkan informasi secara *broadcast* ke *destination* (D) dan ke *relay* (R). Fase yang kedua yaitu *relay* mengirimkan informasi yang diterima dari *source* ke *destination*. Gambar 2.9 berikut ini adalah ilustrasinya.



Gambar 2.9 Sistem Komunikasi Kooperatif 1 Relay

keterangan:

$h_{s,d}$: respon kanal *source* – *destination*

$h_{s,r}$: respon kanal *source* – *relay*

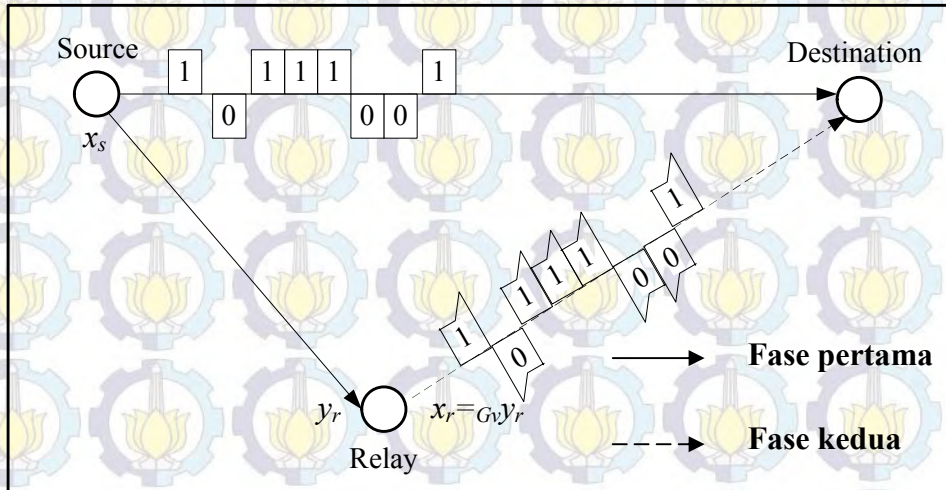
$h_{r,d}$: respon kanal *relay* – *destination*

Ada dua skema pada sistem komunikasi kooperatif yaitu skema AF (*Amplify and Forward*) dan DF (*Decode and Forward*).

2.3.1 Skema AF (*Amplify and Forward*)

Salah satu metode *forwarding* adalah AF [11]. AF adalah metode sederhana yang cocok untuk analisis. Pada metode AF ini, *relay* dengan mudah mengukur sinyal yang diterima, untuk memenuhi batasan dayanya sendiri dan kemudian mengirimkan kembali untuk bekerjasama. Setiap *relay* menerima sinyal yang terkena *noise* dari proses transmisi kemudian sinyal tersebut dikuatkan dan dikirim kembali. Pada skema AF (*Amplify and Forward*), *relay* langsung mengirimkan informasi yang diterima dari *source* yang dikuatkan tanpa perlu

mendekodekannya dahulu sebelum dikirimkan ke *destination*. Gambar 2.10 berikut ini adalah ilustrasinya.



Gambar 2.10 Skema AF [11]

x_s disini adalah sinyal informasi dari *source* dan y_r adalah sinyal yang diterima dari x_s . Sedangkan x_r adalah sinyal pada *relay* dengan faktor pembobotan G_v dikalikan dengan y_r . Meskipun *noise* dikuatkan oleh sistem kooperatif, *destination* dapat membuat keputusan yang lebih baik pada bit yang ditransmisikan dengan cara menggabungkan dua sinyal yang diterima dari *user* dan *relay* yang telah terkena *noise*.

Pada AF ini sinyal yang diterima oleh *relay* akan dikuatkan terlebih dahulu sebelum dikirimkan ke penerima. Metode ini dinamakan dengan metode *fixed protocol* yang mana banyak digunakan ketika waktu pemrosesan yang dimiliki *relay* sedikit sedangkan daya yang tersedia banyak sehingga proses *decoder* dan *encoder* harus dikurangi dan diganti dengan penguatan dengan menggunakan persamaan (2.17).

$$\beta \leq \sqrt{\frac{P}{|a_{s,r}|^2 P + N_0}} \quad (2.17)$$

keterangan :

P : power dari sinyal yang dikirimkan oleh pengirim (Watt)

$a_{s,r}$: koefisien fading antara *source* dan *relay*

N_0 : varian *noise*

Untuk sistem komunikasi bawah air kooperatif, *relay* menguatkan sinyal yang diterima dari *source* dan meneruskan ke *destination* secara langsung tanpa memperhatikan kualitas link *s-r*. Pada fase I, sumber mengirim blok symbol $x_s = [x_s[0], \dots, x_s[M-1]]$ ke *relay* dan tujuan, dengan sinyal yang diterima pada *relay* dan *destination* dapat dituliskan dengan persamaan [11]:

$$y_{sr} = h_{sr} \sqrt{P_s} x_s + w_{sr} \quad (2.18)$$

$$y_{sd} = h_{sd} \sqrt{P_s} x_s + w_{sd} \quad (2.19)$$

dimana P_s adalah daya transmisi sinyal dari *source*, x_s adalah sinyal yang ditransmisikan, $h_{s,r}$ adalah *gain* kanal untuk kanal $S \rightarrow R$, $h_{s,d}$ adalah *gain* kanal untuk kanal $S \rightarrow D$, $w_{s,r}$ dan $w_{s,d}$ adalah *additive Gaussian noise* dengan *zero mean* dan *varians* σ^2 untuk kanal $S \rightarrow R$ dan kanal $S \rightarrow D$.

dengan $m = 0, \dots, M-1$.

Pada fase II, *relay* menerima sinyal untuk menghasilkan vektor transmisi dinormalisasi x_r dengan $E[|x_r[m]|^2] = 1$ untuk semua m . Jika *gain* kanal saat itu $|h_{s,r}|^2$ diketahui pada *relay*, *relay* dapat mengalikan sinyal terima $y_r[m]$ dengan *gain* dituliskan dengan persamaan:

$$G_v = \frac{1}{\sqrt{E[|y_r[m]|^2 / |h_{s,r}|^2]}} = \frac{1}{\sqrt{P_s |h_{s,r}|^2 + \sigma_r^2}} \quad (2.20)$$

untuk mendapatkan simbol transmisi di *relay*, dituliskan dengan persamaan:

$$x_r[m] = G_v y_r[m] \quad (2.21)$$

$$= \sqrt{\frac{P_s}{P_s |h_{s,r}|^2 + \sigma_r^2}} h_{s,r} x_s[m] + \frac{1}{\sqrt{P_s |h_{s,r}|^2 + \sigma_r^2}} \quad (2.22)$$

Catatan bahwa gain G_v tergantung pada kanal ($s-r$ $h_{s,r}$) dan bervariasi pada interval transmisi yang berbeda. Jadi, skema ini sering dihubungkan sebagai skema *relay* AF variabel gain. Kemudian, dengan daya P_r , *relay* meneruskan sinyal x_r ke tujuan, dengan sinyal diterima dengan persamaan:

$$y_d^{(2)} = h_{r,d} \sqrt{P_r} x_r[m] + w_d^{(2)}[m] \quad (2.23)$$

$$= \sqrt{\frac{P_s P_r}{P_s |h_{s,r}|^2 + \sigma_r^2}} h_{s,r} h_{r,d} x_s[m] + \sqrt{\frac{P_s}{P_s |h_{s,r}|^2 + \sigma_r^2}} h_{r,d} w_r[m] + w_d^{(2)}[m]$$

dengan $m = 0, \dots, M-1$. Sinyal yang tiba di tujuan dapat digunakan untuk deteksi dengan atau tanpa *diversity combining* [10].

Nilai SNR yang diterima pada *destination* adalah gabungan nilai SNR dari γ_{sr} dan γ_{rd} yang ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

$$\gamma_{SRD} = \frac{\gamma_{sr} \gamma_{rd}}{\gamma_{sr} + \gamma_{rd} + 1} \quad (2.24)$$

$$\gamma_{sr} = \frac{P_s |h_{sr}|^2}{\sigma_r^2} \quad (2.25)$$

$$\gamma_{rd} = \frac{P_r |h_{rd}|^2}{\sigma_d^2} \quad (2.26)$$

$$\gamma_{sd} = \frac{P_s |h_{sd}|^2}{\sigma_r^2} \quad (2.27)$$

dimana γ_{SRD} : SNR gabungan pada *destination* dari *source-relay* dan dari *relay-destination*

γ_{sr} : SNR dari *source-relay*

γ_{rd} : SNR dari *relay-destination*

γ_{sd} : SNR dari *source-destination*

Pada *destination*, sinyal yang diterima dari *source* dan *relay* dikombinasi menggunakan MRC (*Maximal Ratio Combining*). Penjelasan lebih lanjut tentang MRC akan dijelaskan pada sub bab 2.5 selanjutnya. SNR efektif dari *output* MRC ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

$$\gamma_{AF} = \gamma_{sd} + \frac{\gamma_{sr}\gamma_{rd}}{\gamma_{sr} + \gamma_{rd} + 1} \quad (2.28)$$

dimana γ_{AF} : SNR efektif dari *output* MRC

γ_{sr} : SNR dari *source-relay*

γ_{rd} : SNR dari *relay-destination*

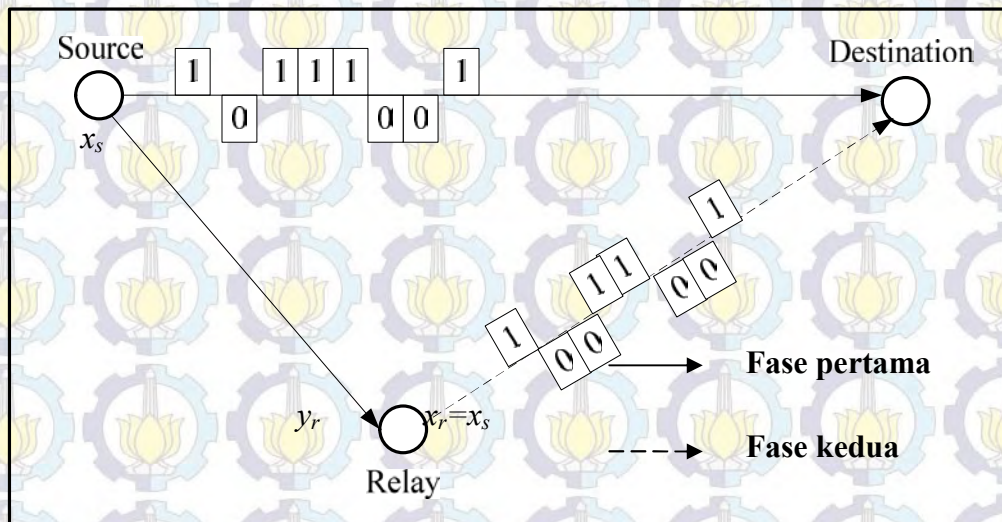
γ_{sd} : SNR dari *source-destination*

2.3.2 Skema DF (*Decode and Forward*)

Pada skema DF (*Decode and Forward*), *relay* akan mendekodekan dahulu informasi yang diterima untuk kemudian mengkodekan kembali informasi dari *source* ke *destination*. Pada *destination*, kedua sinyal yang diterima baik dari *relay* dan *source* akan dikombinasikan untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik dari salah satu sinyal.

Pada gambar 2.11, x_s sebagai sinyal informasi dari *source* dan hasil *encode* berupa simbol dengan suatu bit tertentu dikirimkan ke *destination* dan *relay*. Lalu pada *relay*, sinyal yang diterima dari x_s akan didekodekan dahulu lalu kemudian diteruskan ke *destination*. Pada skema *Decode and Forward*, *relay* mendekodekan sinyal yang diterima dari *source* baru kemudian meneruskan ke *destination*, sinyal

yang diterima pada *relay* dan *destination*. Gambar 2.11 berikut ini adalah ilustrasinya.



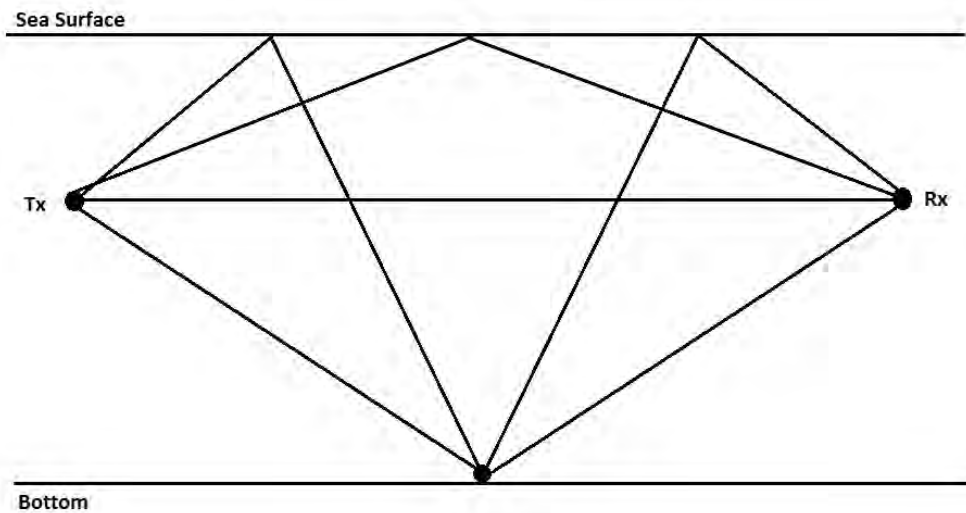
Gambar 2.11 Skema DF [11]

Dari [13], apabila kondisi kanal baik, maka skema DF lebih baik daripada skema AF. Sedangkan pada kondisi kanal yang buruk (dimana kondisi ini mendekati kondisi kanal yang sebenarnya) skema AF lebih baik daripada skema DF. Pada skema AF, karena *relay* langsung menguatkan sinyal informasi yang diterima, maka waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke *destination* pun lebih sedikit dibandingkan dengan skema DF. Karena pada skema DF, *relay*nya harus memproses sinyal informasi yang diterima terlebih dahulu. Sehingga pada penelitian ini, skema AF yang dipilih.

2.4 Pemodelan Kanal Akustik Bawah Air

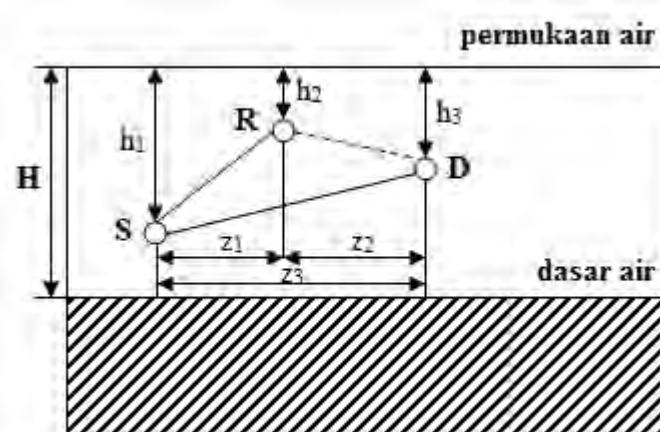
Dalam pemodelan kanal akustik bawah air, hal yang paling berpengaruh adalah efek *multipath*, atenuasi (redaman), dan *geometric spreading* [7] (refleksi, difraksi, *scattering*). Pada komunikasi akustik bawah air untuk perairan dangkal, sinyal akustik yang sampai di penerima merupakan sejumlah sinyal dari beragam lintasan yang diakibatkan oleh pantulan yang berasal dari permukaan dan bagian dasar laut. Lintasan yang berbeda-beda disebabkan sumber bayangan yang secara

geometri dibentuk oleh sumber sebenarnya di bagian permukaan dan dasar laut, sehingga sejumlah bayangan atau sumber pada pemancar virtual tidak berhingga dan setiap bayangan memiliki perulangan. Gambar 2.12 berikut ini adalah ilustrasinya.



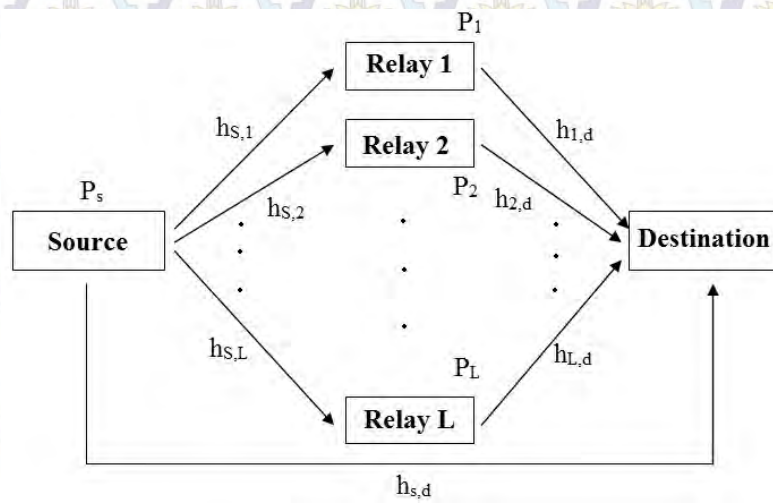
Gambar 2.12 Model *multipath* untuk perairan dangkal

Model sistem yang akan digunakan pada kanal akustik bawah air seperti pada Gambar 2.13 berikut ini.



Gambar 2.13 Model sistem kanal akustik bawah air

Model sistem ini terdiri dari 3 *node* yaitu *source*, *relay*, dan *destination*. Kedalaman laut adalah H meter. *Source*, *relay*, dan *destination node* berlokasi di bawah air dengan kedalaman H dengan ketinggian masing-masing h_1 , h_2 , dan h_3 meter. Sedangkan z_1 , z_2 , dan z_3 menunjukkan jarak masing-masing antara *source* dengan *relay*, *source* dengan *destination*, dan *relay* dengan *destination*. Pada Gambar 2.14 ini adalah gambaran dari model kanal *relay* yang akan digunakan pada simulasi.



Gambar 2.14 Model kanal *relay*

Model kanal *relay* ini terdiri dari satu *source*, *relay* sejumlah L , dan *destination*. Dengan P_s adalah daya transmisi di *source* dan $P_1 - P_L$ adalah daya transmisi pada *relay*. Untuk masing-masing kanal, $h_{s,d}$ adalah koefisien kanal dari *source* ke *destination*, $h_{s,1}$ adalah koefisien kanal dari *source* ke *relay* 1, $h_{s,2}$ adalah koefisien kanal dari *source* ke *relay* 2, $h_{s,L}$ adalah koefisien kanal dari *source* ke *relay* L , $h_{1,d}$ adalah koefisien kanal dari *relay* 1 ke *destination*, $h_{2,d}$ adalah koefisien kanal dari *relay* 2 ke *destination*, dan $h_{L,d}$ adalah koefisien kanal dari *relay* L ke *destination*.

Dari [14], dengan asumsi, transmisi kooperatif ini berlangsung dalam 2 fase. Pada fase 1, pertama-tama *source* mentransmisikan vektor simbol $x_s = [x_s[0], \dots, x_s[M-1]]^T$ ke masing-masing *relay* dan *destination*. Dengan

$E[|x_s[m]|^2] = 1$ untuk semua M , sinyal yang diterima pada *relay* ℓ dan *destination* dalam periode simbol ke- m diberikan oleh

$$y_\ell[m] = h_{s,\ell} \sqrt{P_s} x_s[m] + w_\ell[m], \quad (2.29)$$

$$y_d^{(1)}[m] = h_{s,d} \sqrt{P_s} x_s[m] + w_d^{(1)}[m], \quad (2.30)$$

dimana P_s adalah daya transmisi *source*, $h_{s,\ell}$ dan $h_{s,d}$ adalah koefisien kanal antara *source* dan *relay* ℓ (pada $s-\ell$) dan antara *source* dan *destination* (pada $s-d$), berurutan, dengan $w_\ell[m] \sim CN(0, \sigma_\ell^2)$ dan $w_d^{(1)}[m] \sim CN(0, \sigma_d^2)$ adalah *additive white Gaussian noise* (AWGN) pada *relay* ℓ dan *destination*, berurutan dengan asumsi kanal bersifat *frequency flat* dan *slow fading*. Untuk $m = 0, \dots, M-1$.

Pada fase 2, *relay-relay* ini akan meneruskan pesan dari *source* melalui kanal ortogonal dengan vektor simbol $x_\ell = [x_\ell[0], \dots, x_\ell[M-1]]^T = f_\ell(y_\ell)$ ke *destination*. Sinyal yang diterima oleh *destination* pada kanal yang sesuai dengan *relay* diberikan oleh

$$y_d^{(2,\ell)}[m] = h_{\ell,d} \sqrt{P_\ell} x_\ell[m] + w_d^{(2,\ell)}[m], \quad (2.31)$$

dimana P_ℓ adalah daya transmisi dari *relay*, dan $h_{\ell,d}$ adalah koefisien kanal antara *relay* ℓ dan *destination* (pada $\ell-d$), dan $w_d^{(2,\ell)}[m] \sim CN(0, \sigma_\ell^2)$ adalah (AWGN) pada *destination* di kanal sesuai dengan *relay* ℓ . Semua koefisien kanal diasumsikan independen satu sama lain. Tanda $(2, \ell)$ digunakan untuk menandakan fakta bahwa sinyal dari *relay* yang berbeda-beda diterima melalui kanal frekuensi.

2.5 Teknik Combining

Dari berbagai literatur, diketahui bahwa skema *diversity combining* yang paling sering digunakan terdiri dari tiga skema dasar yaitu EGC (*Equal gain combining*), SC (*Selection combining*), dan MRC (*Maximum Ratio Combining*) [10][11][23].

1. EGC (*Equal gain combining*)

Teknik ini merupakan teknik *combining* yang menjumlahkan semua sinyal informasi yang diterima. Setelah semua sinyal yang diterima dijumlahkan, selanjutnya hasil penjumlahan dari sinyal tersebut akan dideteksi untuk mendapatkan estimasi data yang dikirimkan. EGC adalah suatu teknik yang sering dipertimbangkan, dimana sinyal yang diterima pada tiap-tiap antenna dikalikan dengan faktor pembobotan kompleks yang mengkompensasi pergantian fasa dari kanal. Teknik ini mencapai koherensi fasa pada penerima dan meningkatkan kekuatan sinyal yang diterima. Dengan catatan bahwa magnitudo dari faktor pembobotan dianggap sama dan tidak tergantung pada nilai SNR dari semua *link*. Hal ini akan mengurangi kompleksitas dari skema jika dibandingkan dengan skema MRC. Hasil dari *equal gain combining* dituliskan pada persamaan:

$$Z_{EGC}[n] = \sum_{i=1}^k \alpha_k y_k[n] \quad (2.32)$$

keterangan :

$Z_{EGC}[n]$: sinyal hasil EGC di *destination*

α : faktor pembobotan

$y_k[n]$: sinyal yang diterima di *destination*

k : jumlah link

Teknik EGC ini lebih baik daripada teknik *selective combining* karena pada teknik EGC, semua sinyal yang diterima diproses secara simultan untuk mengestimasi data yang dikirimkan.

2. SC (*Selective Combining*)

SC merupakan teknik *combining* yang paling sederhana dan sering digunakan. SC terdiri dari antenna penerima sejumlah L dan *combining* menyeleksi *output* penerima dengan SNR terbesar sebagai sinyal yang

diterima. Dengan menggunakan beberapa cabang antenna di mana setiap cabang antenna akan menerima sinyal yang telah mengalami *fading*. Dengan kata lain hanya sinyal dengan SNR tertinggi diantara sinyal yang diterima pada *combining* yang akan dideteksi. Pemilihan ini didasarkan oleh nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang terbesar.

$$Z_{SC}[n] = \max(y_k[n]) \quad (2.33)$$

keterangan :

$Z_{SC}[n]$: sinyal hasil SC di *destination*

$y_k[n]$: sinyal yang diterima *destination*

Teknik ini terlihat paling mudah untuk diimplementasikan karena cara kerjanya yang sederhana. Tetapi teknik ini bukanlah teknik yang terbaik dan kinerjanya belum optimal. Hal ini dikarenakan pada teknik ini proses deteksi hanya berdasarkan satu sinyal saja, yaitu sinyal yang memiliki SNR terbesar, dan sinyal yang lain langsung dieliminasi tanpa diproses terlebih dahulu.

3. MRC (*Maximum Ratio Combining*)

Teknik ini hampir sama dengan teknik *equal gain combining*, yaitu menjumlahkan semua sinyal informasi yang diterima kemudian hasil penjumlahan tersebut dideteksi untuk mendapatkan estimasi data yang dikirimkan. Perbedaan teknik ini dengan teknik *equal gain combining* yaitu pada teknik MRC setiap sinyal yang diterima akan dikalikan dengan nilai konjugasi dari koefisien kanal yang telah dilalui. Skema MRC memaksimalkan SNR yang diterima. Sinyal-sinyal ini diberi pembobotan berdasarkan pada kualitas kanal lokal sinyal-sinyal ini pada penerima. Hasil dari MRC dituliskan pada persamaan:

$$Z_{MRC}[n] = \sum_{i=1}^k \alpha_k y_k[n] \quad (2.34)$$

$$\alpha_k = \frac{h_k^*}{\sigma_k^2} = |h_k| e^{-j\phi_k} / \sigma_k^2 \quad (2.35)$$

keterangan :

$Z_{MRC}[n]$: sinyal hasil MRC di *destination*

$y_k[n]$: sinyal yang diterima *destination*

k : jumlah link

$|h_k|$: respon kanal

σ_k^2 : *variance*

Teknik MRC ini merupakan teknik yang terbaik dari ketiga teknik *combining*. Hal ini dikarenakan pada teknik MRC semua sinyal yang diterima diproses secara simultan, dan selain itu setiap sinyal dikalikan dengan konjugasi koefisien kanal masing-masing sinyal.

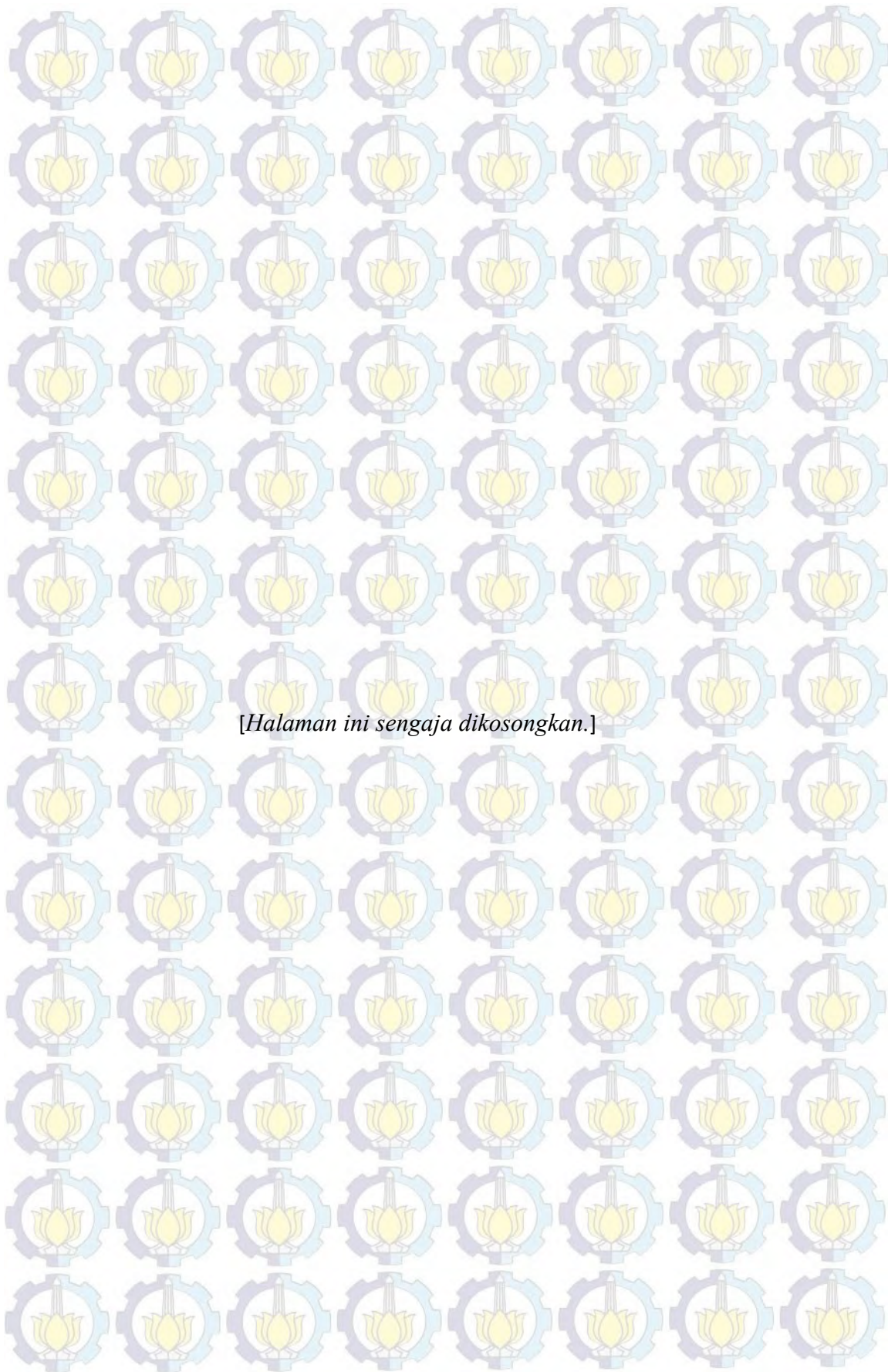
MRC dipilih pada penelitian ini karena jika dibandingkan dengan teknik *combining* lainnya yaitu EGC (*Equal gain combining*) dan SC (*Selection combining*), skema MRC mencapai SNR yang terbesar diantara dua teknik lainnya dan setiap sinyal yang diterima pada *destination* dikalikan dengan konjugasi koefisien kanal pada masing-masing sinyal yang menghasilkan kinerja paling optimal dibandingkan kedua teknik *combining* lainnya.

2.6 Teknik Pemilihan *Relay*

Pertimbangan letak koordinat *node* pada simulasi berdasarkan dari [9][14] yang menunjukkan penyebaran *node relay* secara random (acak). Dari [5], dalam proses pemilihan *relay*, hal yang pertama dilakukan adalah mengestimasi semua *node relay* yang berpotensi menggunakan CSI (*Channel State Information*), lalu memilih *node relay* yang terbaik untuk menguatkan sinyal informasi dari *source* dan kemudian meneruskan ke *destination*. CSI disini berupa pilot untuk

mengetahui kondisi kanal. Dari [24], disarankan untuk memilih *relay* dengan CSI yang terbaik yaitu *relay* dengan $\max\{\min\{|a_{sr_i}|^2, |a_{r_id}|^2\}\}$. a_{sr_i} dan a_{r_id} adalah respon kanal dari *source* ke *relay* r_i dan dari *relay* r_i ke *destination*. Berdasarkan hal ini, maka pilot diperlukan pada skema pemilihan *relay* untuk mengetahui kondisi kanal sebelum *destination* memutuskan *relay* mana yang akan digunakan untuk meneruskan data ke *destination*.

Dari [5], untuk menghindari interferensi antara banyak *relay* ke *destination*, digunakan metode transmisi *time sharing*. Jadi, *relay* yang akan menguatkan sinyal yang diterima dari *source* akan menunggu sampai *timeslot* yang sebelumnya terlampaui, daripada langsung meneruskan ke *destination*. Teori inilah yang menjadi dasar proses pengaturan urutan waktu transmisi *relay* pada simulasi sistem komunikasi kooperatif pada jaringan akustik bawah air.



BAB III

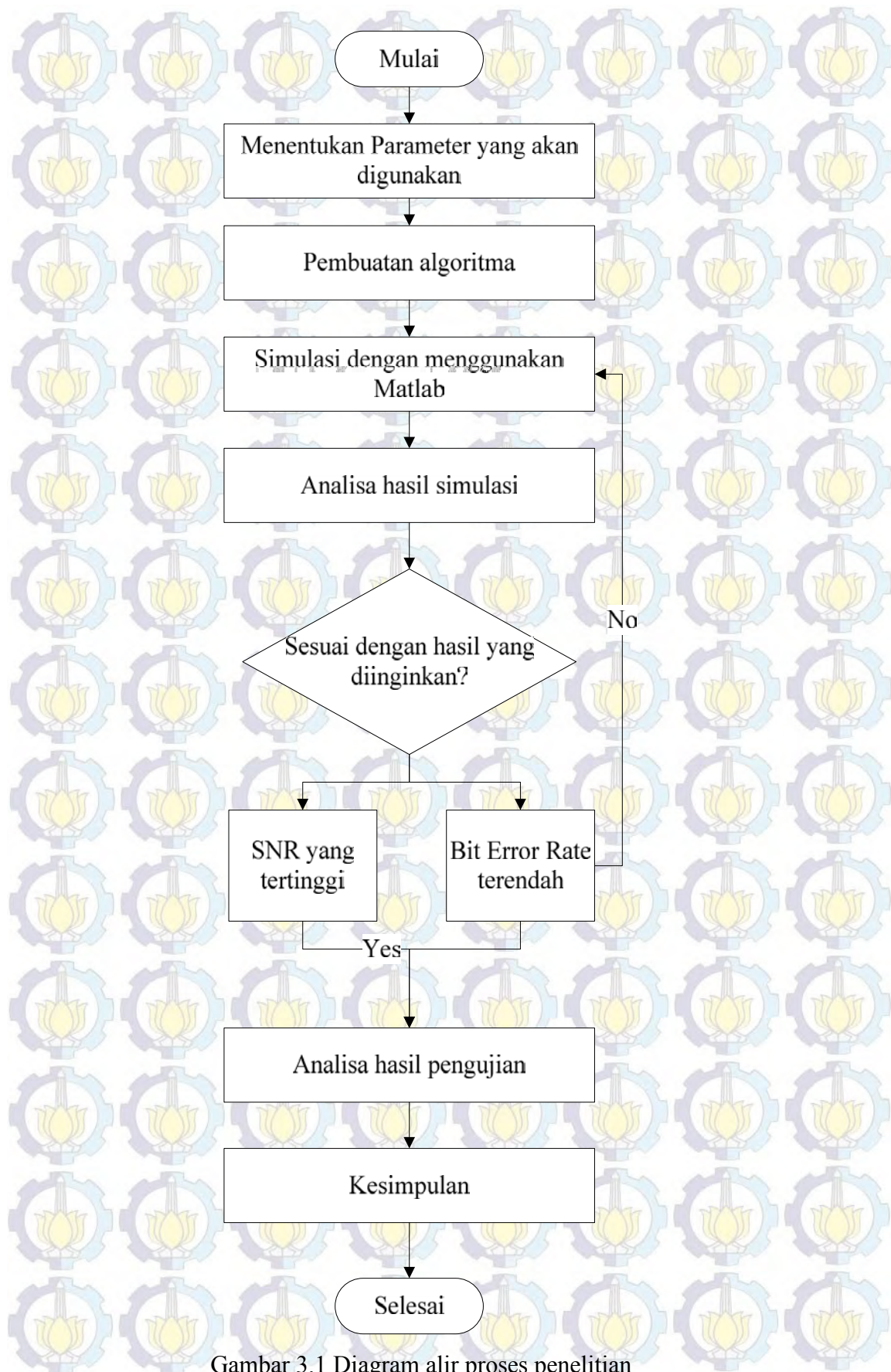
METODE PENELITIAN

Pada bab ini membahas mengenai metode penelitian yang digunakan, bagaimana sistem dibuat dan tahapan pembuatan sistem yaitu pembuatan simulasi kanal bawah air pada komunikasi kooperatif untuk perairan dangkal, topologi sistem komunikasi bawah air, pergerakan *node*, pembangkitan data, skema pemilihan *relay*, dan simulasi. Secara keseluruhan perancangan sistem simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab 2015. Selanjutnya seluruh bagian diintegrasikan menjadi satu sistem yang utuh. Proses akhir berupa pengujian dan pengambilan data. Dari data yang diperoleh akan dianalisa untuk mencapai tujuan utama simulasi ini yaitu mengetahui kinerja sistem yang dirancang berdasarkan nilai *SNR* (*Signal to Noise Ratio*) dan *BER* (*Bit Error Rate*) yang paling rendah.

3.1 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini akan dibuat simulasi pemilihan *relay* (*relay selection*) terbaik dengan menggunakan *relay* AF pada jaringan akustik bawah air kooperatif. Pemilihan *relay* terbaik pada sistem komunikasi bawah air ini bertujuan untuk mendapatkan *relay* yang terbaik diantara beberapa *relay* sehingga masalah efisiensi spektrum, dalam hal ini penghematan *bandwidth*, propagasi *delay* yang sangat panjang, dan kecepatan propagasi bawah air yang rendah dapat teratasi.

Pertama, sebelum *source* mengirim, dilakukan proses pengiriman awal ke tujuan melalui empat *relay* untuk menentukan *relay* mana yang akan digunakan berdasarkan *SNR* yang paling tinggi dan *BER* yang rendah. Setelah itu, pada penerima, dilakukan teknik *combining* dengan menggunakan *MRC* (*Maximum Ratio Combining*) untuk mendapatkan *SNR* yang tertinggi. Setelah itu dari keempat *relay* tersebut dapat dibandingkan *BER* (*Bit Error Rate*) yang terkecil. Adapun diagram alir dari rencana penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.

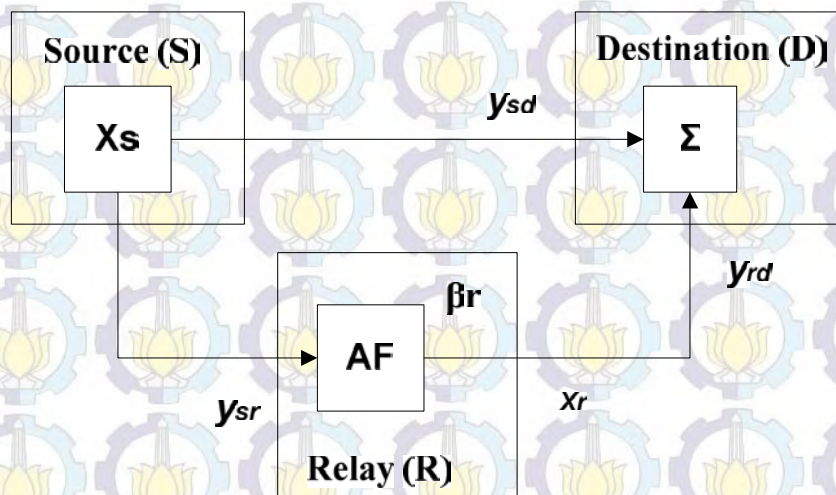


Gambar 3.1 Diagram alir proses penelitian

Pada rancangan penelitian ini, proses penelitian dimulai dengan menentukan parameter yang akan digunakan. Langkah selanjutnya yaitu pembuatan algoritma untuk menentukan *relay* yang terbaik yang akan digunakan. Setelah itu dilakukan proses simulasi dengan menggunakan perangkat lunak Matlab R2015. Kemudian, apabila hasil simulasi sesuai dengan tujuan yang diharapkan (SNR yang tertinggi dan BER yang rendah), dilanjutkan ke proses analisa dari hasil simulasi yang sudah dilakukan.. Apabila tidak, proses simulasi diulangi lagi sampai sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Pada proses analisa hasil pengujian, selanjutnya dapat ditarik kesimpulan.

3.2 Penerapan sistem komunikasi kooperatif

Pada sistem komunikasi kooperatif AF seperti pada Gambar 3.2, *Source* (S) mengirimkan sinyal informasi (x_s) ke *Relay* (R) dan *Destination* (D). y_{sr} adalah sinyal yang diterima pada *Relay* dari *Destination*, y_{sd} adalah sinyal yang diterima pada *Destination* dari *Source*, dan y_{rd} adalah sinyal yang diterima pada *Destination* dari *Relay*.



Gambar 3.2 Blok diagram sistem *relay* AF kooperatif

Pada *relay* AF, *relay* akan meneruskan (memforward) sinyal informasi yang diterima setelah dikuatkan oleh faktor pembobotan (β_r). x_r adalah sinyal pada *relay* dengan faktor pembobotan β_r dengan y_{sr} . Lalu pada *Destination* dilakukan

proses *combining* dengan MRC, yaitu sinyal dari *Source* dan sinyal dari *node Relay* digabungkan untuk mengembalikan sinyal informasi asli dari *Source*. Tidak seperti pada DF (*Decode and Forward*) yang pada prosesnya sebelum meneruskan ke *destination*, sinyal informasi di *decode* terlebih dahulu. Pada AF, sinyal informasi langsung diteruskan oleh *relay* ke *destination* tanpa melalui proses *decoding*. Pada Tabel 3.1 berikut ini adalah parameter yang digunakan pada simulasi pemilihan *relay* terbaik dengan menggunakan *relay* AF pada sistem komunikasi kooperatif akustik bawah air. Dengan asumsi semua *relay* terletak pada kedalaman yang sama yaitu 200 m di bawah permukaan laut.

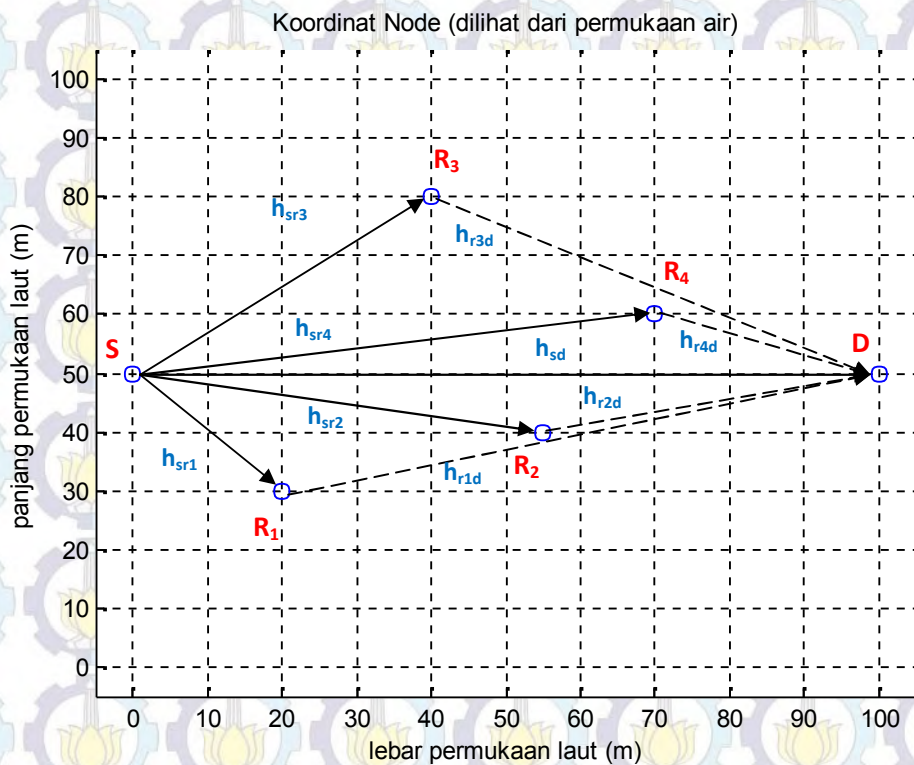
Tabel 3.1 Spesifikasi sistem komunikasi kooperatif

Parameter	Jumlah
Jumlah <i>relay</i>	4 <i>node</i>
Koordinat <i>source</i>	[0, 50]
Koordinat <i>relay</i> 1	[20, 30]
Koordinat <i>relay</i> 2	[55, 40]
Koordinat <i>relay</i> 3	[40, 80]
Koordinat <i>relay</i> 4	[70, 60]
Koordinat <i>destination</i>	[100, 50]
Frekuensi	12 kHz = 12000 Hz
Modulasi	BPSK
Jumlah bit	1000 bit

Semua *node source*, *relay*, dan *destination* berada di bawah air. *Relay* yang digunakan dengan asumsi berjumlah empat *relay*. *Source*, *relay*, dan *destination* diasumsikan berada pada kedalaman yang sama dengan bantuan jangkar agar posisinya tetap. Meskipun koordinat posisi semua *node* berada pada tempat yang sama, tetapi mobilitas (pergerakan) dari *relay* itu sendiri berubah secara acak karena sifat dari lingkungan bawah air (perubahan ombak, aktifitas makhluk hidup bawah air, angin, dan lainnya) dan sistem jangkar [15].

3.2.1 Pemodelan kanal bawah air

Pada bagian ini, akan dibuat suatu asumsi berdasarkan keadaan bawah air yang sesungguhnya untuk penerapan *relay* terbaik pada sistem komunikasi bawah air kooperatif pada perairan dangkal. Hal ini berdasarkan teori dari [9][14] seperti yang sudah dijelaskan pada bab II. Gambar dari sistem ini ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Topologi sistem komunikasi bawah air

Topologi ini adalah gambaran dari model sistem komunikasi kooperatif dengan sudut pandang dari atas permukaan air. Model sistem ini terdiri dari enam *node*. *Source*, empat *relay*, dan *destination*. *Source*, empat *relay*, dan *destination node* berlokasi di bawah air dengan kedalaman *node* yang sama. Dimana posisi *source* berada pada koordinat (0, 50), *relay* 1 berada pada koordinat (20, 30), *relay* 2 berada pada koordinat (55, 40), *relay* 3 berada pada koordinat (40, 80), *relay* 4 berada pada koordinat (70, 60) dan *destination* berada pada koordinat (100, 50) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 di atas.

Pada Gambar 3.3, diibaratkan *underwater sink* sebagai *source*, *underwater node 1* sebagai *relay 1*, *underwater node 2* sebagai *relay 2*, *underwater node 3* sebagai *relay 3*, *underwater node 4* sebagai *relay 4* dan *underwater sink* sebagai *destination* dengan empat *relay* yang digunakan. $h_{s,d}$ adalah koefisien kanal dari *source* ke *destination*, $h_{s,r1}$ adalah koefisien kanal dari *source* ke *relay 1*, $h_{s,r2}$ adalah koefisien kanal dari *source* ke *relay 2*, $h_{s,r3}$ adalah koefisien kanal dari *source* ke *relay 3*, $h_{r1,d}$ adalah koefisien kanal dari *relay 1* ke *destination*, $h_{r2,d}$ adalah koefisien kanal dari *relay 2* ke *destination*, $h_{r3,d}$ adalah koefisien kanal dari *relay 3* ke *destination*.

Pada skema ini, *relay* yang digunakan adalah *relay AF (Amplify and Forward)* dengan teknik *combining MRC (Maximum Ratio Combining)*. Sedangkan kriteria pemilihan *relay* yaitu, dari keempat *relay* tersebut ditentukan *relay* mana yang memiliki nilai SNR yang tertinggi, dan dari BER didapatkan BER yang paling rendah dari keempat *relay* tersebut. Perbedaan posisi *relay* pada bawah air tentu menjadi hal yang menentukan. Semakin dekat letak *relay* dengan *source*, maka sinyal informasi yang didapatkan akan semakin besar. Hal ini berlaku pada kondisi kanal di tiap *relay*. Dengan asumsi, *relay* terletak pada posisi satu garis lurus di kedalaman yang sama, maka kondisi kanalnya belum tentu sama. Pengaruh dari lingkungan sekitar sangat berpengaruh, misalnya pantulan dari sekelompok ikan, kondisi arus di bawah air, dan lainnya.

3.3 Pembangkitan data secara acak

Pada simulasi ini, sinyal informasi yang berupa deretan bit dikirim dengan menggunakan sinyal akustik. Informasi dibangkitkan secara acak dengan fungsi pada matlab, dimana hasilnya akan saling bebas dan sangat memungkinkan terjadinya perulangan. Nilai yang dibangkitkan berupa bit 0 dan 1, dengan level *threshold* yang digunakan berada pada titik 0.5 yaitu apabila nilai acak yang dibangkitkan lebih kecil dari 0.5, maka nilai yang dihasilkan adalah 0 sedangkan bila nilai yang dibangkitkan lebih besar dari 0.5, maka nilai yang dihasilkan adalah 1. Deretan data bit dapat dilihat seperti Gambar 3.4 berikut:



Setelah proses pembangkitan data secara acak, selanjutnya bit-bit tersebut dimodulasi menggunakan modulasi BPSK. Dalam implementasinya, modulasi ini digunakan untuk menghemat *bandwidth* dan sinyal informasi dapat dikirim ketempat yang jauh. Untuk modulasi BPSK, tiap satu simbol mewakili satu bit, data bit dari modulasi BPSK berupa bit 0 dan 1 yang kemudian dipetakan menjadi -1 untuk bit 0 dan +1 untuk bit 1 yang dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Bit	Level	Output Phase
0	-1	180°
1	1	0°

Simulasi kanal bawah air pada penelitian ini meliputi pembangkitan kanal *multipath*, konvolusi kanal dengan pemancar, pembangkitan *noise gaussian*, dan proses *additive noise*. Maka output yang dihasilkan berupa sinyal yang terkena efek *multipath* dan *noise*. Dari simulasi kanal bawah air ini, *multipath* terjadi karena *channel geometry*, *signal frequency*, dan *sound speed profile*, sedangkan *sound speed* meningkat seiring bertambahnya tingkat salinitas, temperature, dan tekanan yang terjadi. Jadi sifat-sifat air yang terdiri dari salinitas dan temperatur akan menyebabkan pengaruh banyak tidaknya *multipath* yang terjadi.

43

pada *deep water*. Hal ini disebabkan karena pada perairan dangkal lebih banyak terkena sinar matahari dan lebih banyak pergerakan arus air. Pada bagian ini, ada beberapa hal yang menjadi asumsi dasar pada sistem komunikasi bawah air yang diterapkan pada penelitian ini, diantaranya yaitu:

1. Perairan bawah air disini yang digunakan adalah pada perairan yang dangkal (*shallow water*).
2. Karena kondisi kanal bawah air yang unik, maka temperatur, salinitas, dan kedalaman berpengaruh pada kondisi kanal bawah air.
3. Parameter yang digunakan pada penelitian ini untuk kriteria pemilihan *relay* yang terbaik adalah berdasarkan nilai SNR dan BER (*bit error rate*) yang paling kecil.
4. *Relay* yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 4 *relay* dengan semua posisi *source*, *relay*, dan *destination* terletak di bawah air.

Dalam mensimulasikan kanal akustik bawah air untuk perairan dangkal dengan kondisi kanal *multipath*, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.11. Untuk menentukan jarak masing-masing lintasan *relay* pada kanal akustik bawah air di perairan dangkal dengan kedalaman 200 m dan jarak pemancar ke penerima 100 m digunakan persamaan berikut ini.

$$d = \sqrt{|(c1x - c2x)|^2 + |(c1y - c2y)|^2} \quad (3.1)$$

dimana d : jarak
 c1x : koordinat 1 pada sumbu x (m)
 c2x : koordinat 2 pada sumbu x (m)
 c1y : koordinat 1 pada sumbu y (m)
 c2y : koordinat 2 pada sumbu y (m)

Dari persamaan (3.1) ini kita dapatkan jarak antara *source*, *relay*, dan *destination* yang menjadi penentu untuk perhitungan atenuasi. Sinyal yang sampai pada *destination* telah mengalami pelemahan sesuai dengan jarak

propagasi yang ditempuh. Dengan mengacu pada pola radiasi *cylindrical* pada perairan dangkal (*shallow water*), atenuasi diperoleh sebagai berikut:

$$Atenuasi(dB) = k10\log_{10}(d) \quad (3.2)$$

dimana k : koefisien *spreading*
 d : jarak

Jika jarak tempuh dinyatakan dengan d , dan kecepatan perambatan sinyal akustik dalam air adalah c ($c = 1500$ m/s untuk air laut), maka besarnya waktu tempuh dapat dihitung dengan persamaan:

$$t = \frac{d}{c} \quad (3.3)$$

3.6 Perhitungan BER (Bit Error Rate)

Ketika *output* diperoleh, kinerja sistem dapat diukur menggunakan parameter BER. BER merupakan perbandingan antara total bit yang salah dengan total bit yang dikirim. BER dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$BER = \frac{JumlahBitError}{JumlahBitTerkirim} \quad (3.4)$$

3.7 Skema Pemilihan Relay

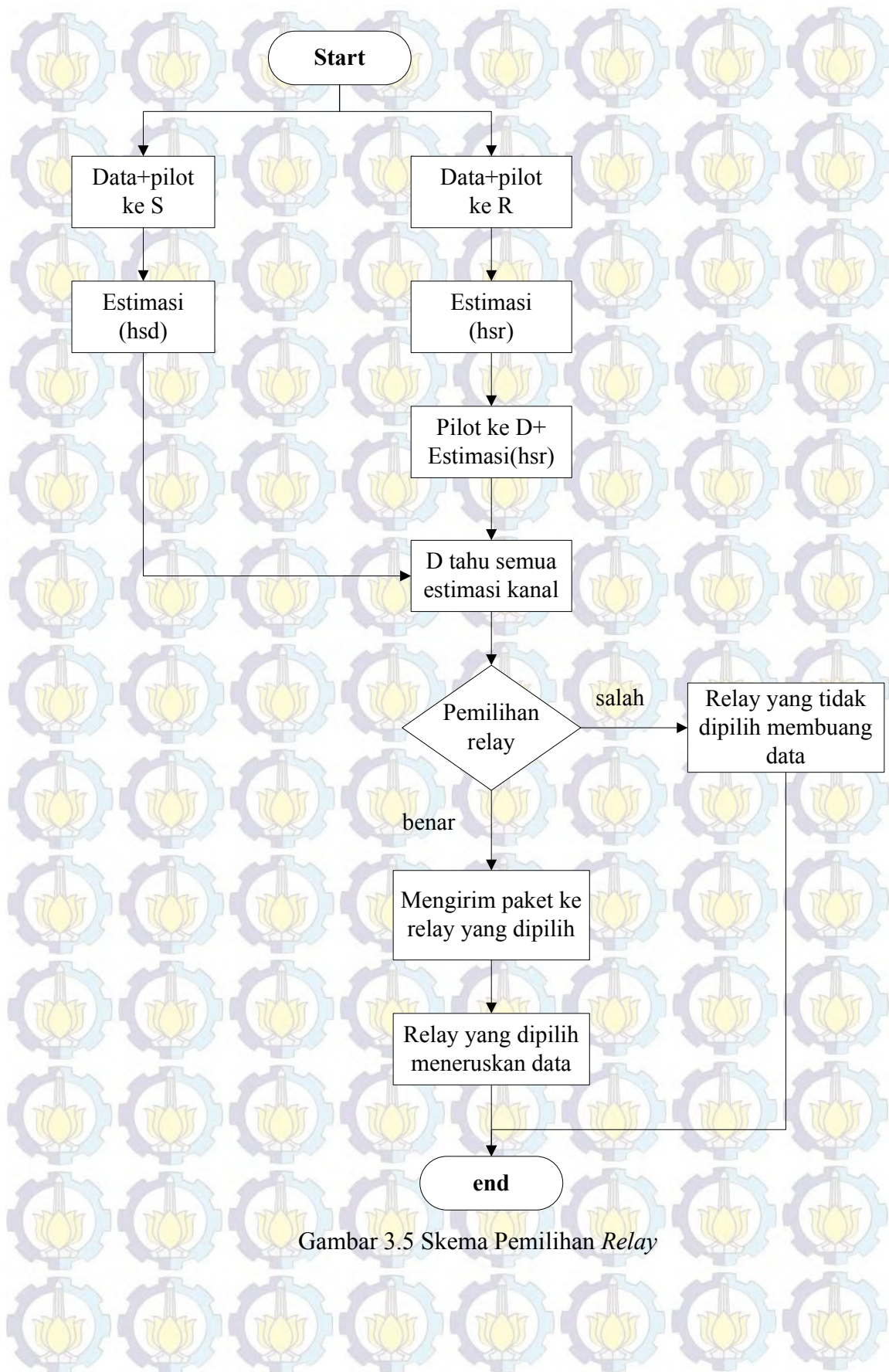
Pada skema pemilihan *relay* yang digunakan pada simulasi kali ini mempertimbangkan dua hal yaitu nilai E_b/N_0 yang terbesar dan nilai BER yang terkecil. Pada skema pemilihan *relay* ini menggunakan MRC sebagai *combining* dari sinyal yang didapatkan dari *source* secara langsung (*direct*) dan *relay* yang terbaik. Sebagai perbandingan, digunakan pula teori Rayleigh dan simulasi Rayleigh dengan pengiriman sinyal informasi dari *source* secara langsung

(*direct*). Grafik yang ditunjukkan pada Rayleigh *simulation* ini juga berarti menunjukkan sistem komunikasi non-kooperatif pada bawah air.

Tahapan awal dalam pemilihan *relay*, dilakukan proses pembangkitan masing-masing kanal baik dari *source-destination*, *source-relay*, maupun *relay-destination*. Setelah itu juga dilakukan proses penambahan *noise*. Lalu pada sinyal informasi yang didapatkan dari *source*, masing-masing *relay* mengalikan dengan *amplification factor* (faktor pembobotan). Setelah itu didapatkan nilai SNR dari masing-masing *relay* dan SNR pada *destination*. Setelah proses tersebut, dilakukan proses perhitungan *error* (kesalahan) pada MRC. Lalu didapatkan nilai maksimum SNR dari masing-masing *relay* yang akan digunakan pada proses pemilihan *relay* yang terbaik. Pada simulasi ini digunakan nilai *real* dari data untuk proses di MRC. Pada skema ini, dilakukan perhitungan SNR untuk setiap *relay* dan memilih *relay* yang mempunyai SNR tertinggi.

Pada skema 1 *relay* terbaik, MRC menggabungkan sinyal informasi yang didapatkan dari *source* secara langsung dan 1 *relay* yang terbaik. Pada setiap pengiriman informasi, *relay* yang terbaik ini berubah-ubah sesuai dengan nilai E_b/N_0 dari masing-masing *relay* tersebut. Sedangkan pada skema 2 *relay* terbaik, MRC menggabungkan sinyal informasi yang didapatkan dari *source* secara langsung dan 2 *relay* yang terbaik. Lalu pada skema 3 *relay* terbaik, MRC menggabungkan sinyal informasi yang didapatkan dari *source* secara langsung dan 3 *relay* yang terbaik. Terakhir, pada skema 4 *relay* terbaik, MRC menggabungkan sinyal informasi yang didapatkan dari *source* secara langsung dan 4 *relay* yang terbaik (semua *relay*).

Dalam sistem komunikasi bawah air, untuk mendapatkan informasi kanal secara akurat menjadi hal yang cukup sulit. Hal ini disebabkan oleh kecepatan suara yang rendah pada akustik bawah air. Akibatnya, *delay* propagasi antar *node* menjadi sangat panjang dan menyebabkan informasi kanal menjadi usang (*outdated*) [8]. Oleh karena itu pada pemilihan *relay* ini, *destination* dianggap sudah mengetahui seluruh kondisi kanal (baik dari *source* ke masing-masing *relay* maupun dari masing-masing *relay* ke *destination*). Pada Gambar 3.5 berikut ini adalah skema pemilihan *relay*.



Gambar 3.5 Skema Pemilihan *Relay*

Pada Gambar 3.5 di atas adalah diagram alir dari proses pemilihan *relay* yang terbaik untuk sistem komunikasi kooperatif bawah air menggunakan skema AF dan teknik *combining* MRC berdasarkan teori dari [5][24] yang sudah dibahas. Gambaran skema pemilihan *relay* terbaik dengan menggunakan pilot ditunjukkan pada Gambar 3.5. Penjelasan dari skema pemilihan *relay* pada Gambar 3.5 yaitu, *source* mengirimkan data dengan sisipan pilot di depannya ke *destination* dan ke tiap *relay*. Tiap *relay* akan menyimpan datanya terlebih dahulu lalu mengirimkan pilot ke *destination* sekaligus meneruskan hasil estimasi kanal dari *source* ke tiap *relay* dari proses sebelumnya (kanal *source* ke masing-masing *relay*). Setelah *destination* mengetahui semua estimasi kanal (baik dari *source* ke masing-masing *relay* maupun dari masing-masing *relay* ke *destination*), *destination* memilih *relay* yang terbaik dengan cara mengirimkan paket hanya ke *relay* yang dipilih. Lalu, *relay* yang dipilih akan meneruskan data ke *destination*, sedangkan *relay* yang lain (karena mengetahui *relay* yang lain sudah dipilih) akan membuang data ke *ground*.

Proses pemilihan ini berlangsung pada skema 1 *relay* terbaik sampai 4 *relay* terbaik. Misalnya untuk kondisi 2 *relay* terbaik maka dengan skenario yang sama seperti penjelasan di atas, setelah *destination* mengetahui semua estimasi kanal (baik dari *source* ke masing-masing *relay* maupun dari masing-masing *relay* ke *destination*), *destination* memilih 2 *relay* yang terbaik dengan cara mengirimkan paket hanya ke *relay* yang dipilih. Lalu, *relay* yang dipilih akan meneruskan data ke *destination*, sedangkan *relay* yang lain (karena mengetahui *relay* yang lain sudah dipilih) akan membuang data ke *ground*. Begitu pula penjelasan untuk masing-masing kondisi 3 dan 4 *relay* terbaik sama dengan kondisi 2 *relay* terbaik. Perbedaannya terletak pada jumlah *relay* yang dipilih pada *destination*.

Pada simulasi pemilihan *relay* terbaik pada akustik bawah air ini akan diketahui penggunaan *relay* untuk mengatasi propagasi *delay* yang panjang dan mengatasi lamanya sinyal informasi yang didapatkan secara langsung dari *source* (secara *direct*). Hasil akhir dari pemilihan *relay* ini adalah untuk membandingkan nilai BER terhadap SNR dari masing-masing kondisi *relay* terbaik, dan juga

membandingkan antara kondisi dengan menggunakan *relay selection* dan tanpa menggunakan *relay selection*.

3.7.1 Pengaturan urutan waktu transmisi *relay*

Masih dalam bagian pemilihan *relay* terbaik, pada simulasi ini akan dibandingkan waktu (*delay*) antara penggunaan 1 *relay* dengan *relay* yang lebih banyak dalam hal efisiensi waktu untuk transmisi sinyal informasi di bawah air. Untuk proses simulasi pengaturan urutan waktu transmisi *relay* ini, digunakan beberapa parameter seperti yang terlihat pada Tabel 3.3. Dalam proses pengaturan urutan waktu transmisi *relay* ini, simulasinya dilakukan bersamaan dengan simulasi program utama.

Berikut ini akan dijelaskan parameter yang terdapat pada Tabel 3.3. Jumlah data adalah jumlah data yang dibangkitkan untuk proses simulasi. Jumlah bit pilot dari *source* adalah jumlah bit pilot yang disisipkan pada data dari *source* ke masing-masing *relay* dan ke *destination*. Jumlah bit pilot dari *relay* adalah jumlah bit pilot yang dikirimkan dari masing-masing *relay* ke *destination* dengan pembagian frame seperti pada Gambar 3.7. Untuk menghindari interferensi diantara paket pilot dari masing-masing *relay* pada *destination*, digunakan metode transmisi *time-sharing*. Dengan kata lain, setiap *relay* akan menahan data dan tidak akan mentransmisikannya sebelum waktu yang dialokasikan. Pengalokasian waktu ini menggunakan *timeslot* delta (δ).

Kecepatan paket adalah jumlah bit yang ditransmisikan dalam setiap detik. Durasi paket data dari *source* adalah paket data dibandingkan kecepatan paket. Durasi paket pilot adalah paket pilot dibandingkan dengan kecepatan paket. Jumlah bit perintah adalah perintah dari *destination* yang diberikan kepada masing-masing *relay* yang dipilih maupun yang tidak dipilih. Jumlah bit ini bergantung pada banyaknya *relay* yang dipilih. Makin banyak *relay* yang dipilih, maka makin banyak jumlah bit perintah yang diberikan. Durasi perintah adalah bit perintah dibandingkan dengan kecepatan paket. Sedangkan *guard time* adalah selisih waktu antara *relay* pertama yang dikirim dengan *relay* berikutnya agar tidak terjadi tabrakan di *destination*. Penjelasan lebih lanjut akan diberikan sesuai dengan sub bab pada masing-masing pembahasan parameter.

Tabel 3.3 Parameter pengaturan urutan waktu transmisi *relay*

Parameter	Nilai
Jumlah data	1000 bit
Jumlah bit pilot dari <i>source</i>	32 bit
Jumlah bit pilot dari <i>relay</i>	134 bit
Delta	0.1 detik
Kecepatan paket	1000 bps (<i>bit per second</i>)
Durasi paket data dari <i>source</i> (dengan pilot)	1.032 detik
Durasi paket data dari <i>source</i> dan dari <i>relay</i> (tanpa pilot)	1 detik
Durasi pilot dari <i>relay-destination</i>	0.134 detik
Jumlah bit perintah dari <i>destination</i> ke <i>relay</i> saat satu <i>relay</i> terbaik	9 bit
Jumlah bit perintah dari <i>destination</i> ke <i>relay</i> saat dua <i>relay</i> terbaik	44 bit
Jumlah bit perintah dari <i>destination</i> ke <i>relay</i> saat tiga <i>relay</i> terbaik	79 bit
Jumlah bit perintah dari <i>destination</i> ke <i>relay</i> saat tiga <i>relay</i> terbaik	114 bit
Durasi perintah dari <i>destination</i> ke <i>relay</i> saat 1 <i>relay</i> terbaik	0.009 bit
Durasi perintah dari <i>destination</i> ke <i>relay</i> saat 2 <i>relay</i> terbaik	0.044 bit
Durasi perintah dari <i>destination</i> ke <i>relay</i> saat 1 <i>relay</i> terbaik	0.079 bit
Durasi perintah dari <i>destination</i> ke <i>relay</i> saat 1 <i>relay</i> terbaik	0.114 bit
<i>Guard time</i>	0.01 detik

Pembagian *frame* pada jumlah pilot dari *relay* ke *destination* ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut ini.

<i>time stamp</i>	pilot s-r	alamat r	alamat r	pilot r-d
64 bit	32 bit	3 bit	3 bit	32 bit

Gambar 3.6 Pembagian *frame* pada paket pilot dari *relay* ke *destination*

Gambar 3.6 di atas merupakan pembagian *frame* pada pilot dari *relay* ke *destination*. 64 bit merepresentasikan *time stamp* yang digunakan untuk pewaktuan dari *relay* ke *destination*, 32 bit pertama adalah pilot yang diketahui oleh *relay* dari *source*, 3 bit pertama adalah alamat pengirim yaitu *relay*, 3 bit kedua adalah alamat penerima yaitu *destination*, 32 bit kedua adalah pilot dari *relay* yang akan dikirimkan ke *source*. Jadi total jumlah bit pada *frame* ini berjumlah 134 bit.

3.7.1.1 Skema satu *relay* terbaik

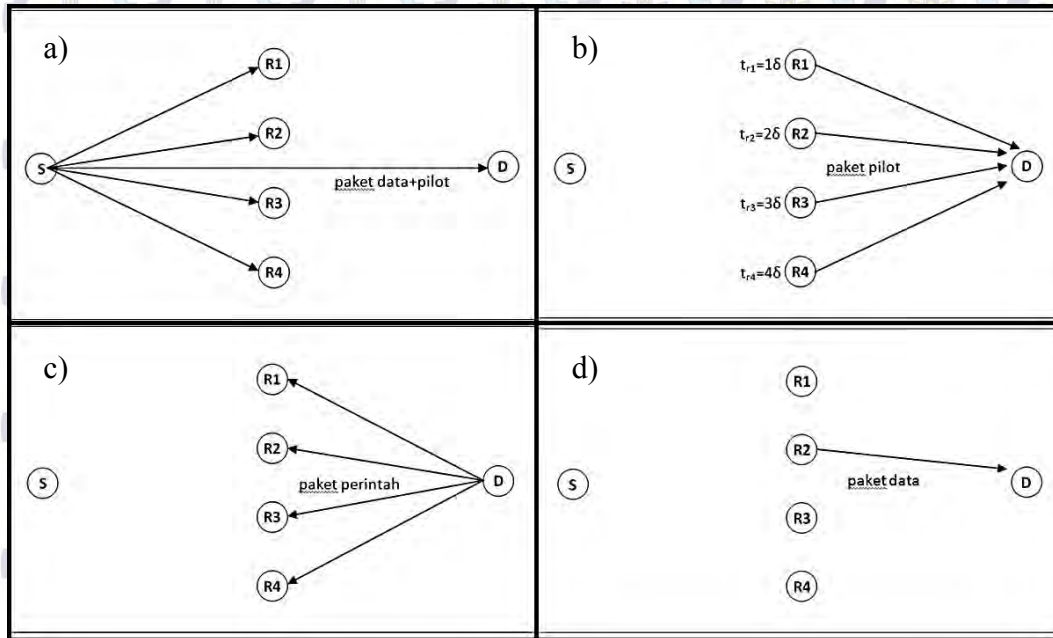
Pembagian *frame* perintah dari *destination* yang akan dikirimkan ke *relay* saat skema satu *relay* terbaik ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut ini.

alamat r	alamat d	perintah
3 bit	3 bit	3 bit

Gambar 3.7 Pembagian *frame* paket perintah dari *destination* ke *relay* untuk satu *relay* terbaik

Gambar 3.7 di atas merupakan pembagian *frame* paket perintah dari *destination* ke *relay* untuk satu *relay* terbaik setelah *destination* mengetahui semua kondisi kanal. 3 bit pertama adalah alamat penerima yaitu *relay* terbaik, 3 bit kedua adalah alamat pengirim yaitu *destination*, 3 bit terakhir adalah perintah yang dikirim dari *destination* ke *relay* untuk memberi perintah *relay* mana yang

dipilih. Skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* pada pemilihan dengan satu *relay* terbaik akan dijelaskan pada Gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* satu *relay* terbaik a) pengiriman paket data+pilot, b) pengiriman paket pilot, c) pengiriman paket perintah, d) pengiriman paket data satu *relay* terbaik

Pada skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* di atas, proses pertama adalah pengiriman pilot yang disisipkan pada data dari *source* ke *destination* bersamaan dengan pengiriman data dan pilot dari *source* ke masing-masing *relay*. Untuk menghindari interferensi diantara paket pilot dari masing-masing *relay* pada *destination*, digunakan metode transmisi *time-sharing*. Dengan kata lain, setiap *relay* akan menahan data dan tidak akan mentransmisikannya sebelum waktu yang dialokasikan. Pengalokasian waktu ini menggunakan *timeslot* δ dengan durasi seperti pada Tabel 3.3 di atas. Kemudian, 134 bit pilot dari masing-masing *relay* dikirim ke *destination*.

Setelah *destination* menerima semua pilot dari masing-masing *relay*, dilakukan pemilihan *relay* sesuai dengan nilai SNR yang didapatkan dari pilot menggunakan persamaan (2.28). Setelah *destination* mengetahui *relay* mana yang akan dipilih, *destination* mengirimkan paket perintah kepada *relay* untuk

meneruskan data ke *destination* menggunakan 9 bit paket perintah dari *destination* ke *relay* sekaligus memberi tahu ke *relay* yang lain yang tidak dipilih untuk *mendrop* paket data yang disimpan sebelumnya. Untuk lebih jelasnya, total waktu yang dibutuhkan dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua data tiba di *destination* pada satu *relay* terpilih akan dijelaskan pada persamaan berikut ini.

$$t_1 = \tau_{dr} + T_{command} + \tau_{rd} + T_{data} + \tau_{srd} \quad (3.5)$$

dimana t_1 : total waktu yang dibutuhkan dari pertama kali *source* mengirim

data sampai semua data tiba di *destination* pada satu *relay* terpilih

τ_{dr} : durasi propagasi dari *destination* ke *relay*

$T_{command}$: durasi paket perintah dari *destination* ke *relay*

τ_{rd} : durasi propagasi dari *relay* ke *destination*

T_{data} : durasi paket data dari *relay* terpilih

τ_{srd} : durasi propagasi dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua pilot dari masing-masing *relay* diterima di *destination*

3.7.1.2 Skema dua *relay* terbaik

Pembagian *frame* perintah dari *destination* yang akan dikirimkan ke *relay* saat dua *relay* terbaik ditunjukkan pada Gambar 3.9 berikut ini.

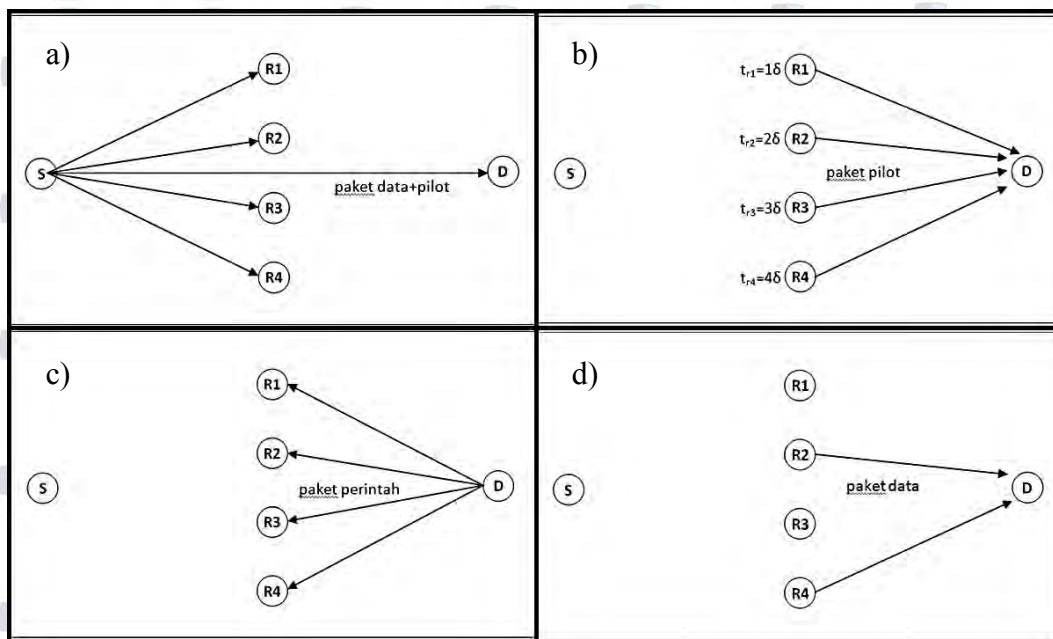
alamat r1	alamat r2	delay	perintah	alamat d
3 bit	3 bit	32 bit	3 bit	3 bit

Gambar 3.9 Pembagian *frame* pada *destination* untuk dua *relay* terbaik

Gambar 3.9 di atas merupakan pembagian *frame* paket perintah dari *destination* ke *relay* untuk dua *relay* terbaik setelah *destination* mengetahui semua kondisi kanal. 3 bit pertama adalah alamat penerima yaitu *relay* terbaik pertama, 3 bit kedua adalah alamat penerima yaitu *relay* terbaik kedua, 32 bit adalah *delay*

yang digunakan bagi *relay* terbaik kedua untuk menunggu mengirimkan data ke *destination* agar tidak terjadi tabrakan penerimaan data pada *destination*, 3 bit ketiga adalah perintah yang dikirimkan *destination* ke *relay* untuk memberi perintah *relay* mana saja yang dipilih, sedangkan 3 bit terakhir adalah alamat pengirim yaitu *destination*. Skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* pada pemilihan dengan dua *relay* terbaik akan dijelaskan pada Gambar 3.10.

Pada skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* pada Gambar 3.10, hampir sama dengan pengaturan urutan waktu transmisi *relay* untuk satu *relay* terbaik. Perbedaannya, setelah *destination* menerima semua pilot dari masing-masing *relay*, dilakukan pemilihan dua *relay* terbaik sesuai dengan nilai SNR yang didapatkan dari pilot menggunakan persamaan (2.28).



Gambar 3.10 Skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* dua *relay* terbaik a) pengiriman paket data+pilot, b) pengiriman paket pilot, c) pengiriman paket perintah, d) pengiriman paket data dua *relay* terbaik

Setelah *destination* mengetahui *relay* mana yang akan dipilih, *destination* mengirimkan paket perintah kepada kedua *relay* terbaik agar meneruskan data ke *destination* menggunakan 44 bit paket perintah dari *destination* ke *relay* sekaligus

memberi tahu ke dua *relay* yang lain yang tidak dipilih untuk *mendrop* paket data yang disimpan sebelumnya. Untuk menghindari tabrakan diantara paket data dari masing-masing *relay* terbaik pada *destination*, diperlukan waktu tunda untuk mengatur waktu kedatangan kedua paket data di *destination*. Di sisi lain, meskipun digunakan waktu tunda, tetapi waktu tunda tersebut tidak boleh terlalu lama agar waktu total yang dibutuhkan untuk satu kali transmisi kooperatif secara lengkap dapat lebih efisien. Oleh karena itu, diusulkan metode waktu tunda agar nantinya selisih waktu antar kedatangan paket data dari masing-masing *relay* bernilai T_{guard} . Formula yang digunakan untuk perhitungan waktu tunda pada dua *relay* terbaik ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$t_{tunda} = ((2 \times \tau_{rd,m} + T_{data} + T_{guard}) - (2 \times \tau_{rd,n})) \quad (3.6)$$

dimana t_{tunda} : waktu tunda di salah satu *relay* dengan durasi propagasi yang terlama pada saat dua *relay* terbaik yang dipilih
 $\tau_{rd,m}$: durasi propagasi dari *relay* ke *destination* yang paling minimum dari dua *relay* yang terpilih
 $\tau_{rd,n}$: durasi propagasi dari *relay* ke *destination* yang paling maksimum dari dua *relay* yang terpilih
 T_{data} : durasi panjang paket data
 T_{guard} : *guard time* (selisih waktu antara masing-masing paket data)

Untuk lebih jelasnya, total waktu yang dibutuhkan dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua data tiba di *destination* pada dua *relay* terpilih akan dijelaskan pada persamaan berikut ini.

$$t_2 = \tau_{dr} + T_{command} + \tau_{rd} + 2 \times T_{data} + \tau_{srd} + T_{guard} \quad (3.7)$$

dimana t_2 : total waktu yang dibutuhkan dari pertama kali *source* mengirim

data sampai semua data tiba di *destination* pada dua *relay* terpilih

τ_{dr} : durasi propagasi dari *destination* ke *relay*

$T_{command}$: durasi paket perintah dari *destination* ke *relay*

τ_{rd} : durasi propagasi dari *relay* ke *destination*

T_{data} : durasi paket data dari dua *relay* terpilih

τ_{srd} : durasi propagasi dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua pilot dari masing-masing *relay* diterima di *destination*

T_{guard} : *guard time* (selisih waktu antara masing-masing paket data)

3.7.1.3 Skema tiga *relay* terbaik

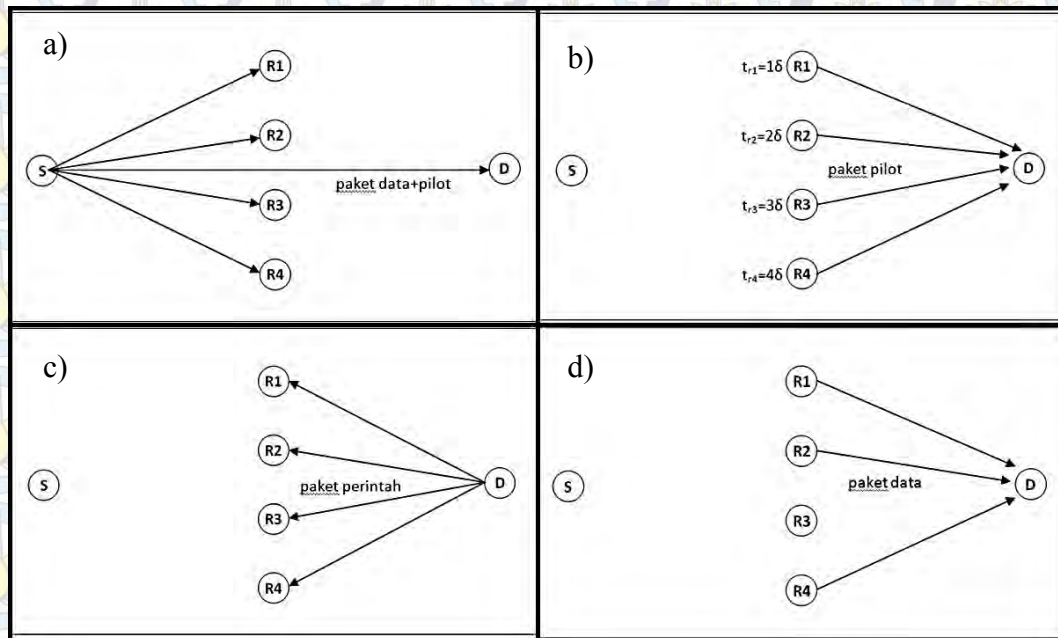
Pembagian *frame* perintah dari *destination* yang akan dikirimkan ke *relay* saat tiga *relay* terbaik ditunjukkan pada Gambar 3.11 berikut ini.

alamat r1	alamat r2	delay 1	alamat r3	delay 2	alamat d	perintah
3 bit	3 bit	32 bit	3 bit	32 bit	3 bit	3 bit

Gambar 3.11 Pembagian *frame* pada *destination* untuk tiga *relay* terbaik

Gambar 3.11 di atas merupakan pembagian *frame* paket perintah dari *destination* ke *relay* untuk tiga *relay* terbaik setelah *destination* mengetahui semua kondisi kanal. 3 bit pertama adalah alamat penerima yaitu *relay* terbaik pertama, 3 bit kedua adalah alamat penerima yaitu *relay* terbaik kedua, 32 bit pertama adalah *delay* yang digunakan bagi *relay* terbaik kedua untuk menunggu mengirimkan data ke *destination* agar tidak terjadi tabrakan penerimaan data pada *destination*, 3 bit ketiga adalah alamat penerima yaitu *relay* terbaik ketiga, 32 bit kedua adalah *delay* yang digunakan bagi *relay* terbaik ketiga untuk menunggu mengirimkan data ke *destination* agar tidak terjadi tabrakan penerimaan data pada *destination*, 3 bit keempat adalah alamat pengirim yaitu *destination*, 3 bit terakhir adalah perintah yang dikirimkan *destination* ke *relay* untuk memberi perintah *relay* mana

saja yang dipilih. Skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* pada pemilihan dengan tiga *relay* terbaik akan dijelaskan pada Gambar 3.12 berikut ini.



Gambar 3.12 Skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* tiga *relay* terbaik a) pengiriman paket data+pilot, b) pengiriman paket pilot, c) pengiriman paket perintah, d) pengiriman paket data tiga *relay* terbaik

Pada skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* di atas, hampir sama dengan pengaturan urutan waktu transmisi *relay* untuk dua *relay* terbaik. Perbedaannya, setelah *destination* menerima semua pilot dari masing-masing *relay*, dilakukan pemilihan tiga *relay* terbaik sesuai dengan nilai SNR yang didapatkan dari pilot menggunakan persamaan (2.28). Setelah *destination* mengetahui *relay* mana yang akan dipilih, *destination* mengirimkan paket perintah kepada ketiga *relay* terbaik agar meneruskan data ke *destination* menggunakan 79 bit paket perintah dari *destination* ke *relay* sekaligus memberi tahu ke *relay* yang lain yang tidak dipilih untuk *drop* paket data yang disimpan sebelumnya.

Sama seperti skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* untuk dua *relay*, untuk menghindari tabrakan diantara paket data dari masing-masing *relay* terbaik pada *destination*, diperlukan waktu tunda untuk mengatur waktu kedatangan ketiga paket data di *destination*. Diusulkan metode waktu tunda agar

nantinya selisih waktu antar kedatangan paket data dari masing-masing *relay* bernilai T_{guard} . Karena *relay* terbaik yang dipilih berjumlah tiga *relay*, maka dibutuhkan dua waktu tunda untuk menunda transmisi dari dua *relay* yang mempunyai durasi propagasi terlama diantara tiga *relay* yang terpilih. Formula yang digunakan untuk perhitungan waktu tunda pada *relay* terpilih dengan durasi propagasi tercepat kedua pada skema tiga *relay* terbaik ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$t_{tunda\ 3a} = ((2 \times \tau_{rd,m}) + T_{data} + T_{guard}) - (2 \times \tau_{rd,n}) \quad (3.8)$$

dimana $t_{tunda\ 3a}$: waktu tunda pada *relay* terpilih dengan durasi propagasi tercepat kedua pada skema tiga *relay* terbaik

$\tau_{rd,m}$: waktu yang dibutuhkan dari *relay* ke *destination* yang paling minimum dari dua *relay* yang terpilih

$\tau_{rd,n}$: waktu yang dibutuhkan dari *relay* ke *destination* yang paling maksimum dari dua *relay* yang terpilih

T_{data} : durasi panjang paket data

T_{guard} : *guard time* (selisih waktu antara masing-masing paket data)

Formula yang digunakan untuk perhitungan waktu tunda pada *relay* terpilih dengan durasi propagasi tercepat ketiga pada skema tiga *relay* terbaik ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$t_{tunda\ 3b} = ((2 \times \tau_{rd,m}) + (2 \times T_{data}) + (2 \times T_{guard})) - (2 \times \tau_{rd,n}) \quad (3.9)$$

dimana $t_{tunda\ 3b}$: waktu tunda pada *relay* terpilih dengan durasi propagasi tercepat ketiga pada skema tiga *relay* terbaik

$\tau_{rd,m}$: waktu yang dibutuhkan dari *relay* ke *destination* yang paling minimum dari dua *relay* yang terpilih

$\tau_{rd,n}$: waktu yang dibutuhkan dari *relay* ke *destination* yang paling maksimum dari dua *relay* yang terpilih

T_{data} : durasi panjang paket data

T_{guard} : *guard time* (selisih waktu antara masing-masing paket data)

Untuk lebih jelasnya, total waktu yang dibutuhkan dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua data tiba di *destination* pada tiga *relay* terpilih akan dijelaskan pada persamaan berikut ini.

$$t_3 = \tau_{dr} + T_{command} + \tau_{rd} + 3 \times T_{data} + \tau_{srd} + 2 \times T_{guard} \quad (3.10)$$

dimana t_3 : total waktu yang dibutuhkan dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua data tiba di *destination* pada tiga *relay* terpilih

τ_{dr} : durasi propagasi dari *destination* ke *relay*

$T_{command}$: durasi paket perintah dari *destination* ke *relay*

τ_{rd} : durasi propagasi dari *relay* ke *destination*

T_{data} : durasi paket data dari tiga *relay* terpilih

τ_{srd} : durasi propagasi dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua pilot dari masing-masing *relay* diterima di *destination*

T_{guard} : *guard time* (selisih waktu antara masing-masing paket data)

3.7.1.4 Skema empat *relay* terbaik

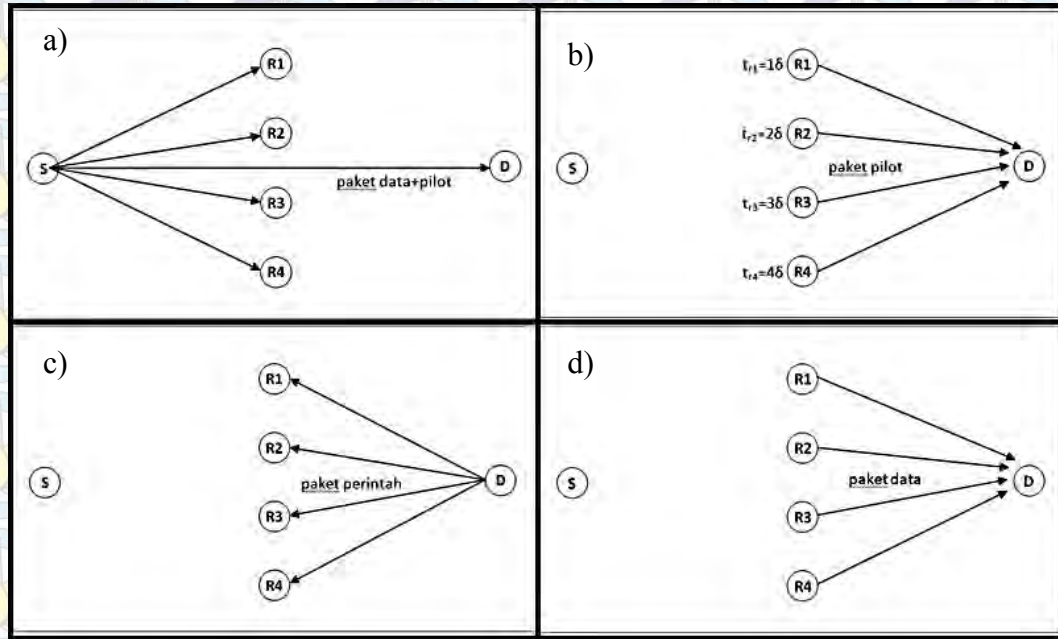
Pembagian *frame* perintah dari *destination* yang akan dikirimkan ke *relay* saat empat *relay* terbaik ditunjukkan pada Gambar 3.13 berikut ini.

r1	r2	delay 1	r3	delay 2	r4	delay 3	d	perintah
3 bit	3 bit	32 bit	3 bit	32 bit	3 bit	32 bit	3 bit	3 bit

Gambar 3.13 Pembagian *frame* pada *destination* untuk empat *relay* terbaik

Gambar 3.13 di atas merupakan pembagian *frame* paket perintah dari *destination* ke *relay* untuk empat *relay* terbaik setelah *destination* mengetahui semua kondisi kanal. 3 bit pertama adalah alamat penerima yaitu *relay* terbaik pertama, 3 bit kedua adalah alamat penerima yaitu *relay* terbaik kedua, 32 bit pertama adalah *delay* yang digunakan bagi *relay* terbaik kedua untuk menunggu mengirimkan data ke *destination* agar tidak terjadi tabrakan penerimaan data pada *destination*, 3 bit ketiga adalah alamat penerima yaitu *relay* terbaik ketiga, 32 bit kedua adalah *delay* yang digunakan bagi *relay* terbaik ketiga untuk menunggu mengirimkan data ke *destination* agar tidak terjadi tabrakan penerimaan data pada *destination*, 3 bit keempat adalah alamat penerima yaitu *relay* terbaik keempat, 32 bit ketiga adalah *delay* yang digunakan bagi *relay* terbaik keempat untuk menunggu mengirimkan data ke *destination* agar tidak terjadi tabrakan penerimaan data pada *destination*, 3 bit kelima adalah alamat pengirim yaitu *destination*, 3 bit terakhir adalah perintah yang dikirimkan *destination* ke *relay* untuk memberi perintah *relay* mana saja yang dipilih. Skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* pada pemilihan dengan empat *relay* terbaik akan dijelaskan pada Gambar 3.14 berikut ini.

Pada skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* di Gambar 3.14 ini, hampir sama dengan pengaturan urutan waktu transmisi *relay* untuk dua *relay* terbaik. Perbedaannya, setelah *destination* menerima semua pilot dari masing-masing *relay*, dilakukan pemilihan empat *relay* terbaik sesuai dengan nilai SNR yang didapatkan dari pilot menggunakan persamaan (2.28). Setelah *destination* mengetahui *relay* mana yang akan dipilih, *destination* mengirimkan paket perintah kepada ketiga *relay* terbaik agar meneruskan data ke *destination* menggunakan 114 bit paket perintah dari *destination* ke *relay*.



Gambar 3.14 Skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* empat *relay* terbaik
a) pengiriman paket data+pilot, b) pengiriman paket pilot, c) pengiriman paket perintah, d) pengiriman paket data empat *relay* terbaik

Sama seperti skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* untuk dua *relay*, untuk menghindari tabrakan diantara paket data dari masing-masing *relay* terbaik pada *destination*, diperlukan waktu tunda untuk mengatur waktu kedatangan ketiga paket data di *destination*. Diusulkan metode waktu tunda agar nantinya selisih waktu antar kedatangan paket data dari masing-masing *relay* bernilai T_{guard} . Karena *relay* terbaik yang dipilih berjumlah empat *relay*, maka dibutuhkan tiga waktu tunda untuk menunda transmisi dari tiga *relay* yang mempunyai durasi propagasi terlama diantara empat *relay* yang terpilih. Formula yang digunakan untuk perhitungan waktu tunda pada *relay* terpilih dengan durasi propagasi tercepat ketiga pada skema empat *relay* terbaik ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$t_{tunda\ 4a} = ((2 \times \tau_{rd,m}) + T_{data} + T_{guard}) - (2 \times \tau_{rd,n}) \quad (3.11)$$

dimana $t_{tunda\ 4a}$: waktu tunda pada *relay* terpilih dengan durasi propagasi tercepat kedua pada skema empat *relay* terbaik

$\tau_{rd,m}$: waktu yang dibutuhkan dari <i>relay</i> ke <i>destination</i> yang paling minimum dari dua <i>relay</i> yang terpilih
$\tau_{rd,n}$: waktu yang dibutuhkan dari <i>relay</i> ke <i>destination</i> yang paling maksimum dari dua <i>relay</i> yang terpilih
T_{data}	: durasi panjang paket data
T_{guard}	: <i>guard time</i> (selisih waktu antara masing-masing paket data)

Formula yang digunakan untuk perhitungan waktu tunda pada *relay* terpilih dengan durasi propagasi tercepat ketiga pada skema empat *relay* terbaik ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$t_{tunda\ 4b} = ((2 \times \tau_{rd,m}) + (2 \times T_{data}) + (2 \times T_{guard})) - (2 \times \tau_{rd,n}) \quad (3.12)$$

dimana $t_{tunda\ 4b}$: waktu tunda pada *relay* terpilih dengan durasi propagasi tercepat ketiga pada skema empat *relay* terbaik

$\tau_{rd,m}$: waktu yang dibutuhkan dari <i>relay</i> ke <i>destination</i> yang paling minimum dari dua <i>relay</i> yang terpilih
$\tau_{rd,n}$: waktu yang dibutuhkan dari <i>relay</i> ke <i>destination</i> yang paling maksimum dari dua <i>relay</i> yang terpilih
T_{data}	: durasi panjang paket data
T_{guard}	: <i>guard time</i> (selisih waktu antara masing-masing paket data)

Formula yang digunakan untuk perhitungan waktu tunda pada *relay* terpilih dengan durasi propagasi tercepat keempat pada skema empat *relay* terbaik ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$t_{tunda\ 4c} = ((2 \times \tau_{rd,m}) + (3 \times T_{data}) + (3 \times T_{guard})) - (2 \times \tau_{rd,n}) \quad (3.13)$$

dimana t_{tunda}^{4c} : waktu tunda pada *relay* terpilih dengan durasi propagasi

tercepat keempat pada skema empat *relay* terbaik

$\tau_{rd,m}$: waktu yang dibutuhkan dari *relay* ke *destination* yang

paling minimum dari dua *relay* yang terpilih

$\tau_{rd,n}$: waktu yang dibutuhkan dari *relay* ke *destination* yang

paling maksimum dari dua *relay* yang terpilih

T_{data} : durasi panjang paket data

T_{guard} : *guard time* (selisih waktu antara masing-masing paket data)

Untuk lebih jelasnya, total waktu yang dibutuhkan dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua data tiba di *destination* pada empat *relay* terpilih akan dijelaskan pada persamaan berikut ini.

$$t_4 = \tau_{dr} + T_{command} + \tau_{rd} + 4 \times T_{data} + \tau_{srd} + 3 \times T_{guard} \quad (3.14)$$

dimana t_4 : total waktu yang dibutuhkan dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua data tiba di *destination* pada empat *relay* terpilih

τ_{dr} : durasi propagasi dari *destination* ke *relay*

$T_{command}$: durasi paket perintah dari *destination* ke *relay*

τ_{rd} : durasi propagasi dari *relay* ke *destination*

T_{data} : durasi paket data dari empat *relay* terpilih

τ_{srd} : durasi propagasi dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua pilot dari masing-masing *relay* diterima di *destination*

T_{guard} : *guard time* (selisih waktu antara masing-masing paket data)

Dari keempat skema pengaturan urutan waktu transmisi *relay* ini, akan diketahui perbandingan waktu tempuh dan waktu tunda antara menggunakan satu *relay* terbaik dibandingkan dengan menggunakan lebih banyak *relay* (skema satu *relay* terbaik, skema dua *relay* terbaik, skema tiga *relay* terbaik, dan skema empat *relay* terbaik) dalam menyampaikan informasi paket data dari *source* ke *destination* untuk sistem komunikasi kooperatif bawah air. Hasil akhir dari informasi pengaturan urutan waktu transmisi *relay* pada beberapa skema ini adalah untuk mengetahui korelasi antara banyaknya *relay* dan efisiensi waktu dalam proses transmisi.

3.8 Data Pendukung (Simulasi Bellhop)

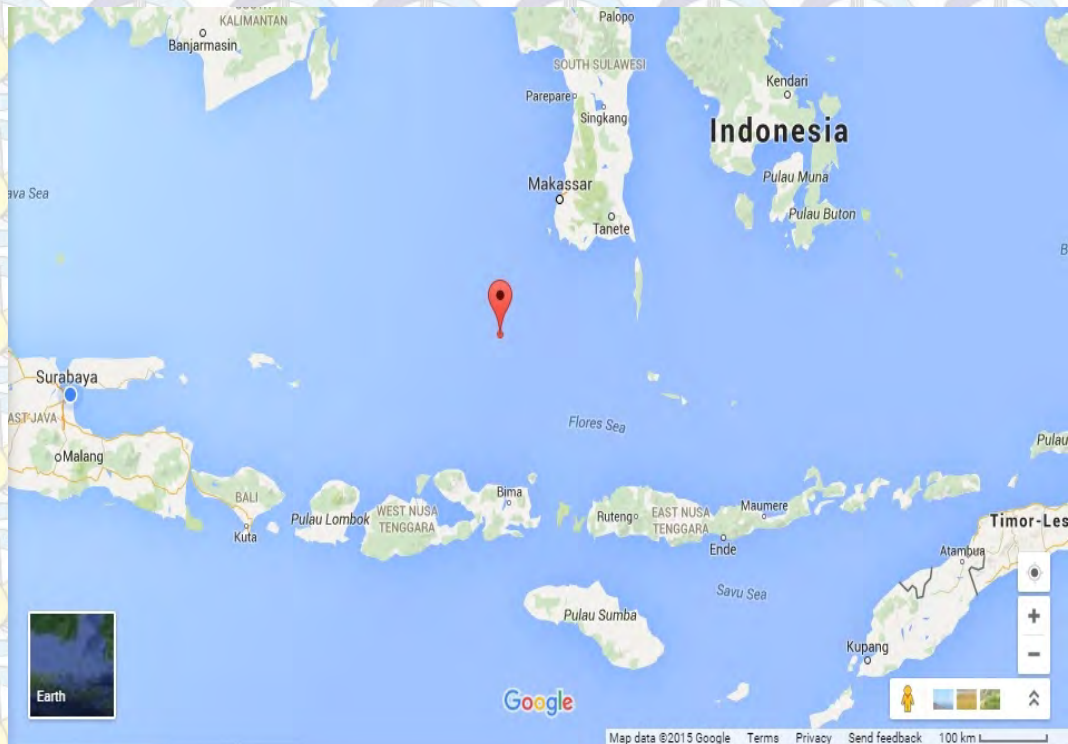
Berikut ini adalah data pendukung kondisi kanal bawah air dengan menggunakan *Acoustic Toolbox* yaitu Bellhop untuk mengetahui respon impuls kanal dan penyebaran sinyal informasi pada bawah air. Terdapat berbagai macam jenis *acoustic toolbox*, diantaranya adalah bellhop, kraken, scooter, dan lainnya. Pada penelitian ini, digunakan *acoustic toolbox* jenis Bellhop.

Bellhop adalah model *beam tracing* (*Gaussian ray tracing*) untuk memprediksi tekanan akustik pada lingkungan laut. Bellhop dapat menghasilkan berbagai macam output seperti *transmission loss*, *eigenrays*, *arrivals*, dan *time-series* yang diterima. Bellhop dapat diimplementasikan pada Fortran, Matlab, dan Python dan juga dapat digunakan seperti platform yang bermacam-macam seperti Mac, Windows, dan Linux. Parameter yang digunakan seperti pada Tabel 3.4 berikut:

Tabel 3.4 Parameter simulasi pada Bellhop

Koordinat area (<i>Latitude, Longitude</i>)	-6.625, 118.625
Jarak <i>source-destination</i>	100 m
Kedalaman	200 m
Sudut <i>beams</i>	-60° s.d. 60°

Pada Gambar 3.15 berikut ini adalah posisi skenario pengambilan data yang ada pada simulasi berdasarkan dari koordinat pada Tabel 3.4 dengan menggunakan Google Map. Terlihat bulatan merah adalah posisi yang akan dilakukan proses simulasi yaitu di sekitar Laut Flores.



Gambar 3.15 Lokasi simulasi kanal bawah air [25]

Pada penelitian ini menggunakan asumsi kondisi bawah air pada *shallow water* (perairan dangkal). Oleh karena itu pada pemilihan wilayah kali ini dicari wilayah di Indonesia dengan kedalaman yang sesuai pada perairan dangkal yaitu sekitar 200 m. Terdapat beberapa wilayah yang sebenarnya cukup mewakili perairan dangkal di Indonesia. Pada akhirnya, penulis mendapatkan wilayah dengan kedalaman yang sesuai dengan kriteria perairan dangkal yaitu di wilayah Laut Flores.

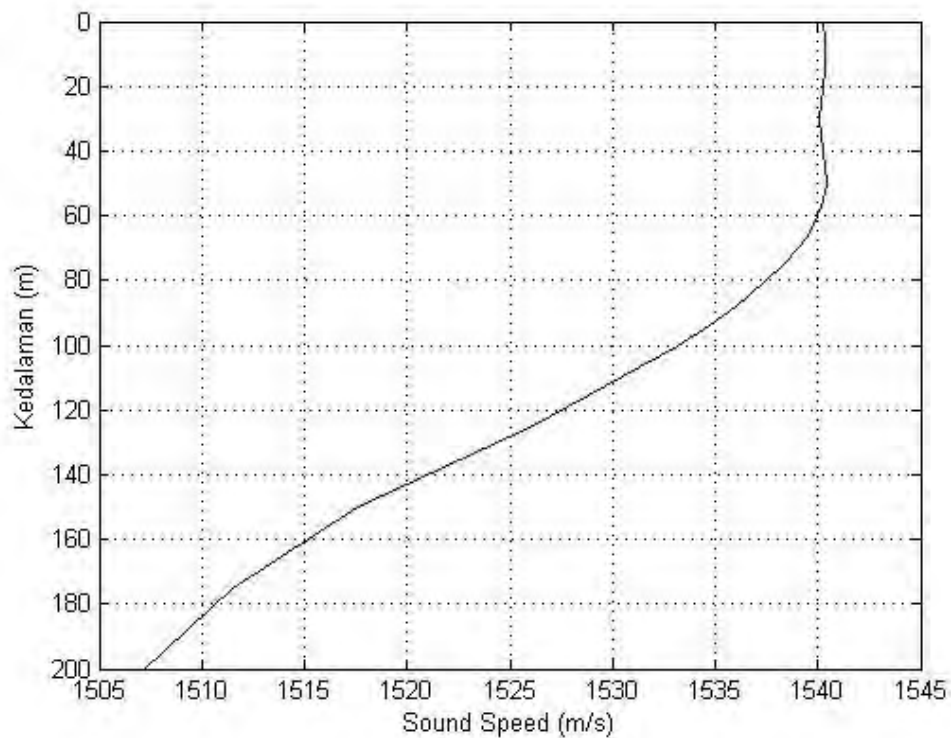
Pada setiap wilayah bawah air tentunya terdapat keragaman kedalaman, temperatur, salinitas, dan lainnya. Tabel 3.5 berikut ini berdasarkan data yang diambil dari *World Ocean Atlas* 2013 versi 2, pada koordinat $(-6.625, 118.625)$.

Data yang dipakai merupakan rata-rata dalam setahun dengan ukuran koordinat $1/4^\circ$.

Tabel 3.5 Parameter lingkungan bawah air

Kedalaman (m)	Salinitas	Temperatur (°C)	Sound Speed (m/s)
0	32.71	28.7	1540.250356
5	32.731	28.695	1540.34304
10	32.77	28.65	1540.368241
15	32.826	28.554	1540.300823
20	32.9	28.44	1540.21271
25	32.995	28.322	1540.137256
30	33.1	28.2	1540.062893
35	33.167	28.185	1540.182083
40	33.211	28.17	1540.277108
45	33.221	28.163	1540.353886
50	33.28	28.14	1540.447199
55	33.397	27.954	1540.244024
60	33.57	27.711	1539.97208
65	33.761	27.419	1539.606911
70	33.912	27.073	1539.073177
75	34.03	26.66	1538.344716
80	34.123	26.226	1537.530423
85	34.203	25.758	1536.610543
90	34.274	25.268	1535.61433
95	34.32	24.728	1534.454432
100	34.36	24.16	1533.199255
125	34.527	21.185	1526.181916
150	34.55	17.95	1517.58036
175	34.525	15.805	1511.506756
200	34.5	14.3	1507.129263

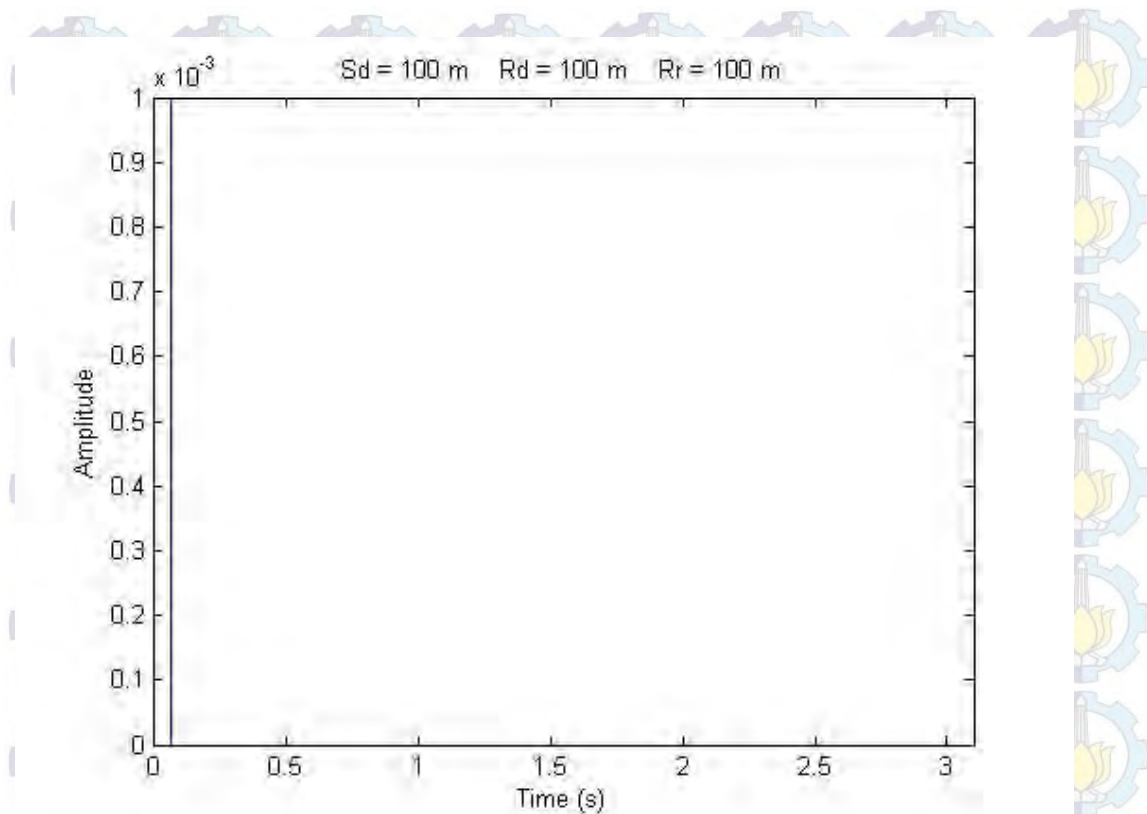
Pada Tabel 3.5 di atas secara berurutan adalah salinitas dan temperatur pada tiap kedalaman. Dari tiga parameter tersebut, dengan menggunakan rumus Mackenzie pada persamaan (2.1) didapatkan nilai *sound speed* pada tiap kedalaman. Cepat rambat gelombang akustik bawah air sebagai fungsi kedalaman disebut sebagai *sound speed profile* seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.16 dimana nilai dari grafik tersebut diperoleh berdasarkan pada nilai dari Tabel 3.5.



Gambar 3.16 Hubungan antara kedalaman air dan kecepatan suara

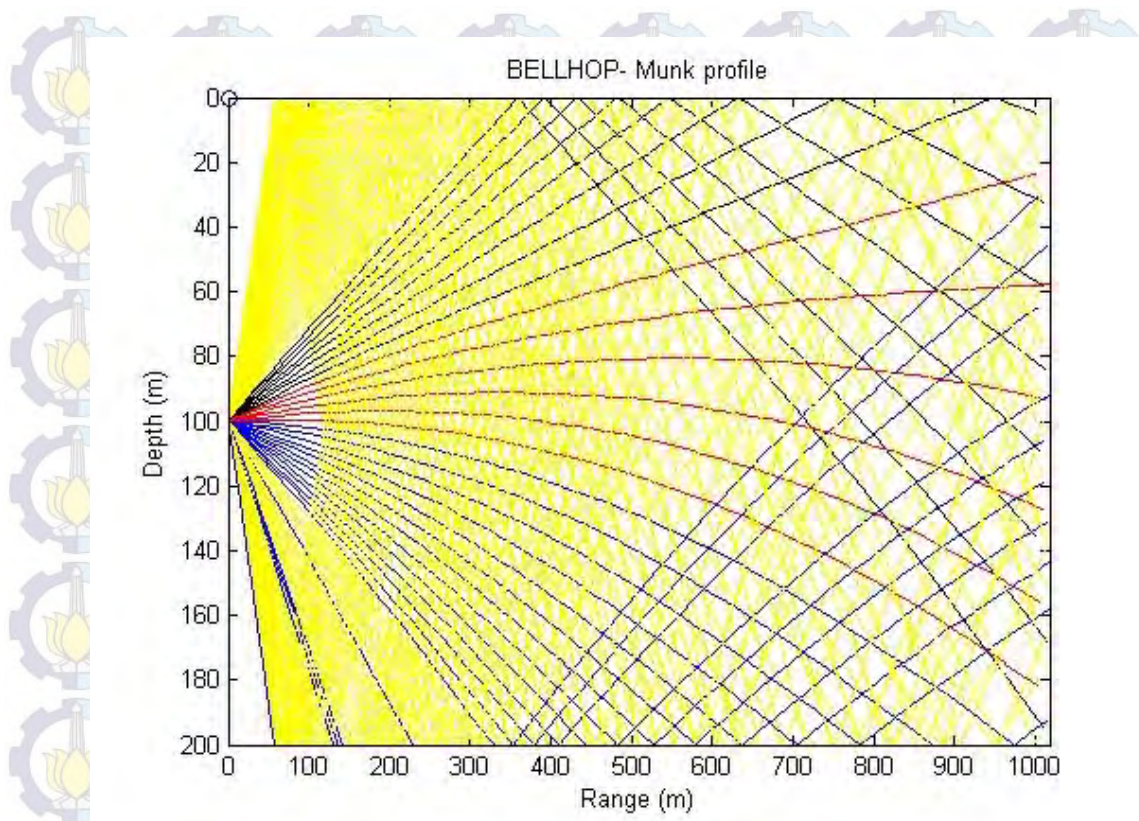
Pada Gambar 3.16 menunjukkan bahwa semakin dalam letak suatu *node* maka kecepatan suara akan semakin berkurang. Meskipun pada kedalaman 0 – sekitar 60 m, kecepatan suara cukup konstan yaitu pada kisaran 1540 m/s. Pada grafik yang ditunjukkan Kondisi grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3.17 ini dapat dijelaskan lebih lanjut dengan berdasar pada grafik *sound speed* di Gambar 2.4, dimana pada kedalaman 0 – 60 m termasuk dalam kondisi konstan (*constant sound speed*). Sedangkan untuk kedalaman 0 – 200 m termasuk dalam *sound speed with negative gradient*.

Gambar 3.17 adalah gambar dari plot *arrival* untuk menunjukkan impuls respon kanal. Dengan parameter yang ada pada Tabel 3.4 di atas, terlihat bahwa impuls respon yang dihasilkan adalah 1 tap. Hal ini terjadi disebabkan jarak pemancar dan penerima yang cukup dekat yaitu 100 meter, sehingga impuls respon yang dihasilkan berjumlah 1 tap.

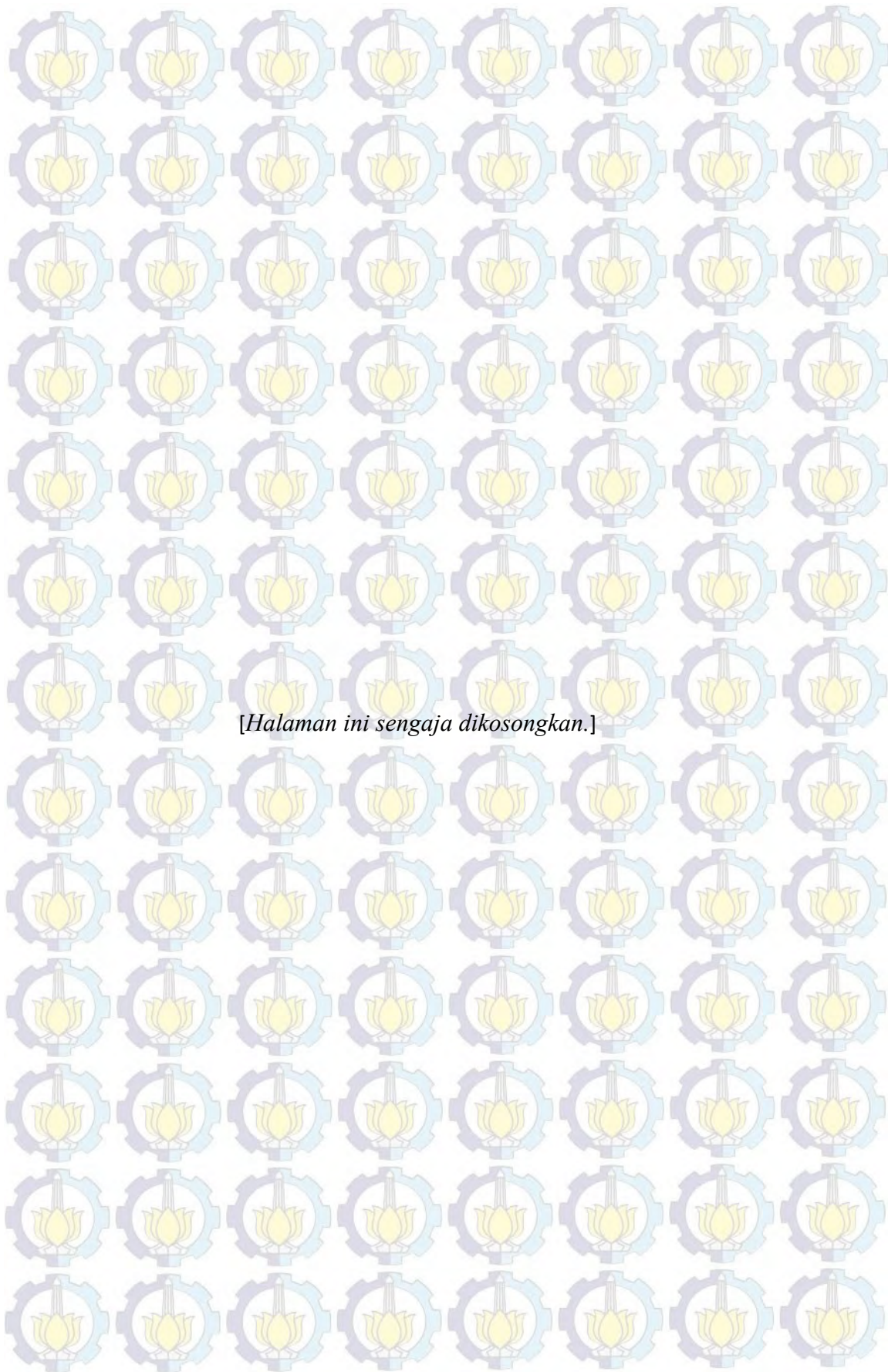


Gambar 3.17 Plot *arrival* Bellhop

Pada Gambar 3.18 berikut ini menunjukkan *ray* yang menghubungkan pemancar ke penerima dari pantulan permukaan dan dasar laut. Garis berwarna kuning adalah arah pantulan dari permukaan dan dasar air, garis berwarna hitam adalah pantulan dari permukaan air, garis berwarna biru adalah pantulan dari dasar air, garis berwarna merah adalah sinyal informasi secara langsung (*direct*) dari *source* ke *destination*. Dari gambar ini terlihat bahwa pada jarak 1000 m, banyak pantulan yang terjadi saat sampai di *destination*. Pantulan yang paling banyak terjadi adalah dari permukaan dan dasar laut (yang ditunjukkan oleh warna kuning). Pada kondisi *direct* (garis berwarna merah) terlihat *ray* nya melengkung, hal ini disebabkan oleh kondisi bawah air yang berbeda-beda sehingga menyebabkan sinyal informasi *direct* tidak terbentuk satu garis lurus.



Gambar 3.18 Plot *ray* Bellhop



BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Pada Bab IV ini berisi hasil simulasi dan analisa dari pemilihan *relay* terbaik pada sistem komunikasi kooperatif bawah air secara keseluruhan. Untuk proses analisa dilakukan dengan membandingkan *Bit Error Rate* (BER) dengan SNR dari pemilihan *relay* terbaik. Estimasi kanal ideal adalah proses estimasi kanal yang diasumsikan berjalan ideal tanpa penerapan metode estimasi kanal. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan kanal *multipath*, modulasi BPSK, *relay* AF (*Amplify-Forward*), dan MRC (*Maximum Ratio Combining*), pada perairan dangkal. Pemodelan kanal menggunakan distribusi Rayleigh dengan *mean* 0 dan *variance* σ^2 . Perairan dangkal dengan asumsi jarak pemancar dan penerima 100 m, dengan kedalaman 200 m. Jumlah lintasan ($n\text{Tap}$) = 1, jumlah informasi (data) sejumlah 1.000 bit.

4.1 Parameter Simulasi

Pada simulasi ini, digunakan beberapa asumsi dan parameter, diantaranya adalah:

1. Input data berupa 1000 data yang dibangkitkan secara acak.
2. Modulasi yang digunakan adalah modulasi BPSK.
3. Digunakan 1 *source* dan 1 *destination*.
4. Digunakan 4 *relay*.
5. Skema kooperatif yang digunakan adalah *Amplify-Forward* (AF).
6. Jarak antara *source* dan *destination* adalah 100 meter.
7. Koordinat pada masing-masing *relay* sebagai berikut: R1 (20, 30), R2 (55, 40), R3 (40, 80), dan R4 (70, 60). (lebar permukaan laut 100 meter, panjang permukaan laut 100 meter, dengan asumsi koordinat dilihat dari atas permukaan laut)
8. Kanal propagasi yang digunakan dalam simulasi adalah kanal Rayleigh.
9. Kanal Rayleigh ini diasumsikan mempunyai lintasan tunggal (1 Tap).

10. Dalam simulasi ini dipengaruhi oleh *noise* AWGN (*Additive White Gaussian Noise*).
11. E_b/N_0 bervariasi antara -1 dB s.d. 15 dB.
12. Teknik *combining* yang digunakan adalah MRC.
13. Diasumsikan bahwa *destination* mengetahui semua kondisi kanal baik dari *source* ke *destination*, *source* ke masing-masing *relay*, maupun masing-masing *relay* ke *destination*.

4.2 Analisa Hasil Sistem Komunikasi Kooperatif pada Kanal Bawah Air

Simulasi sistem kanal akustik bawah air ini dilakukan pada perairan dangkal, yang dipengaruhi *delay*, dengan kondisi kanal *multipath* dan adanya *noise* AWGN.

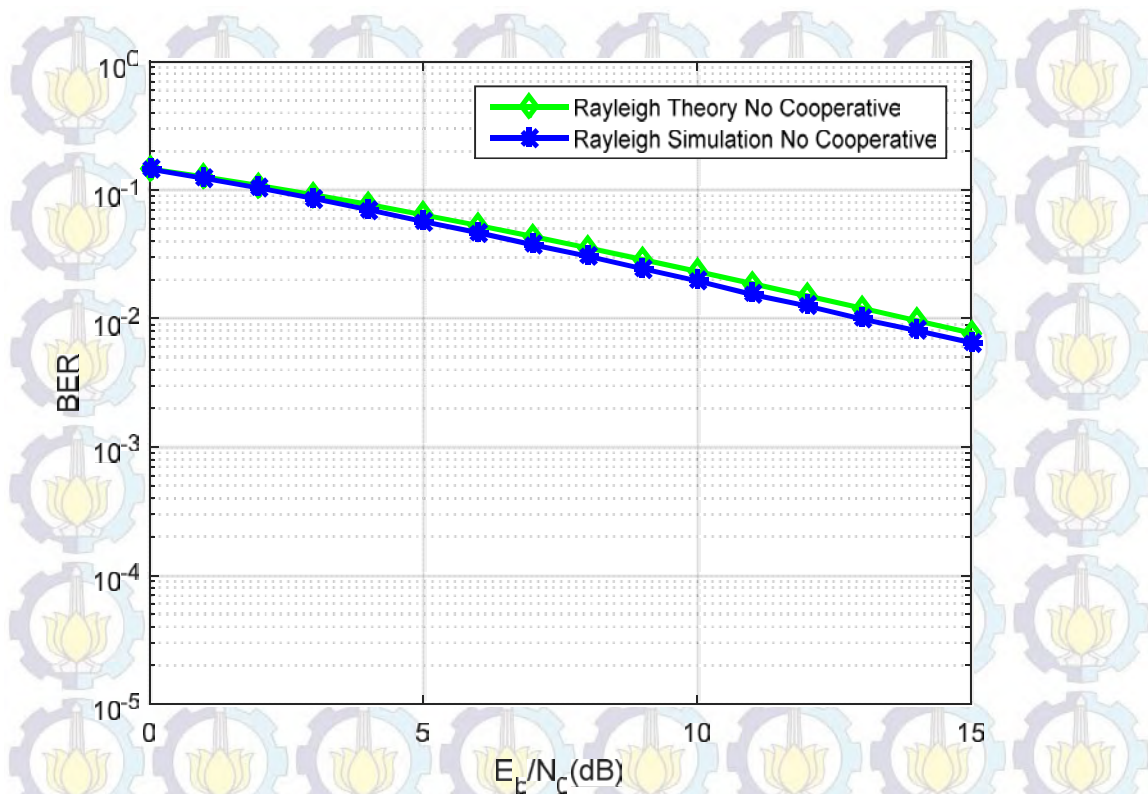
Berdasarkan dari teori komunikasi bawah air, bahwa kondisi kanal *multipath* merupakan kondisi yang merepresentasikan kondisi *real* dari kanal bawah air dimana kanal bawah air merupakan media yang cukup sulit untuk dilewatkan sistem komunikasi karena adanya sifat tertentu pada air yaitu salinitas (tingkat keasinan) dan temperatur (suhu) yang berpengaruh pada sedikit banyaknya *multipath* dan adanya gerakan gelombang air setiap saat ataupun dari sekelompok ikan yang berada di sekitar *node*. Sehingga dari simulasi ini, dapat diketahui bahwa pada kanal *multipath* akan selalu terjadi *error* walaupun SNR yang digunakan besar. Hal ini disebabkan banyaknya lintasan yang dilalui oleh informasi sebelum sampai ke penerima.

Untuk simulasi sistem komunikasi kooperatif menggunakan *relay amplify and forward*, dilakukan menggunakan pemrograman Matlab R2015. Kanal yang digunakan adalah kanal Rayleigh yang telah dipengaruhi *noise* yang terdistribusi Gaussian dan biasanya dikenal dengan kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Sinyal yang melewati kanal tersebut ditambah oleh level amplitudo *noise* pada level amplitudo sinyal. Bit yang dibangkitkan pada simulasi ini sejumlah 1000, selanjutnya data bit yang telah dibangkitkan akan disisipi terlebih dahulu dengan menggunakan pilot sebelum dikirimkan ke *relay* dan *destination*. Modulasi yang digunakan adalah modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK). Pada sisi penerima *relay* data tersebut akan disimpan terlebih dahulu sebelum

dikirimkan ke *destination*. *Relay* akan mengirimkan informasi kanal (*source* ke masing-masing *relay*) dari pilot yang tadi disisipkan pada data beserta pilotnya sendiri ke *destination*. Selanjutnya setelah *destination* mengetahui semua keadaan kanal baik dari *source* ke masing-masing *relay* maupun keadaan kanal dari masing-masing *relay* ke *destination*, *destination* akan memutuskan untuk menggunakan *relay* mana yang akan dipilih untuk meneruskan data yang tadi disimpan pada *relay*. Sedangkan *relay* lain yang tidak dipilih akan mendrop data.

Untuk memastikan bahwa hasil simulasi yang telah dilakukan benar maka perlu dilakukan validasi. Proses validasi tersebut akan dilakukan dengan cara membandingkan grafik BER hasil simulasi dengan hasil teori pada kanal Rayleigh. Langkah selanjutnya adalah membandingkan grafik BER hasil simulasi antara sistem komunikasi kooperatif dengan sistem komunikasi non-kooperatif. Pada sistem komunikasi kooperatif, bit yang telah dibangkitkan secara acak akan menggunakan modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK). Sistem komunikasi kooperatif dapat mengurangi pengaruh *fading*, sehingga dapat memperbaiki kinerja sistem komunikasi bawah air. Secara teoritis performansi dari sistem komunikasi kooperatif lebih baik dibandingkan dengan komunikasi non-kooperatif.

Grafik perbandingan BER berdasarkan hasil simulasi pada kondisi kanal AWGN ditunjukkan oleh Gambar 4.1. Jumlah lintasan pada grafik tersebut sebanyak 1 tap yang terdiri dari lintasan langsung atau *Line of Sight* (LOS) pada kanal Rayleigh. Pada grafik ini terlihat bahwa simulasi kanal Rayleigh sudah mendekati teori dari kanal Rayleigh itu sendiri. Grafik *Rayleigh Theory No Cooperative* menunjukkan simulasi dari teori Rayleigh. Grafik *Rayleigh Simulation No Cooperative* menunjukkan hasil simulasi dari *source* ke *destination* secara langsung (*direct*). Sehingga dari grafik ini dapat dilihat bahwa pada E_b/N_0 10 dB, nilai BER untuk simulasi yaitu 1.964218×10^{-2} sedangkan BER pada teori yaitu 2.3268705×10^{-2} . Hal ini menunjukkan bahwa nilai BER antara teori dan simulasi untuk E_b/N_0 10 dB memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh yaitu 3.626525×10^{-3} .



Gambar 4.1 Perbandingan teori dan simulasi pada kanal Rayleigh

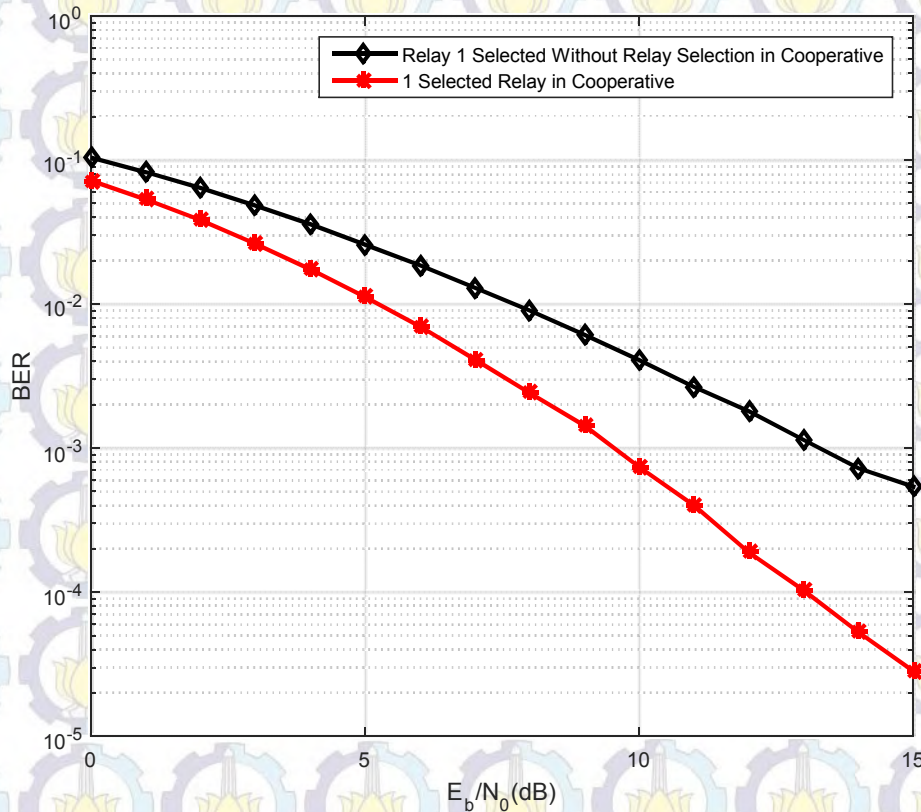
Untuk tabel perbandingan BER antara teori dan simulasi melalui kanal Rayleigh ditunjukkan pada Tabel 4.1. Terlihat perbedaan yang tidak terlalu signifikan antara teori dan simulasi yang menandakan simulasi yang dilakukan mendekati kebenaran dengan teori Rayleigh.

Tabel 4.1 Perbandingan BER pada teori dan simulasi Rayleigh

Variabel	E_b/N_0	BER
Rayleigh Theory	10 dB	2.3268705×10^{-2}
Rayleigh Simulation	10 dB	1.964218×10^{-2}

Langkah selanjutnya adalah membandingkan grafik BER hasil simulasi antara skema komunikasi kooperatif dengan menggunakan *relay selection* dan skema komunikasi kooperatif tanpa menggunakan *relay selection*. Pada skema komunikasi kooperatif tanpa menggunakan *relay selection*, prosesnya yaitu, sebelum simulasi telah ditentukan terlebih dahulu *relay* mana yang akan

digunakan untuk meneruskan data ke *destination*. Karena tanpa menggunakan *relay selection*, maka tidak digunakan algoritma untuk proses pemilihan *relay*. Pada Gambar 4.2 berikut ini adalah hasil simulasi perbandingan antara skema komunikasi kooperatif dengan menggunakan *relay selection* dan skema komunikasi kooperatif tanpa menggunakan *relay selection*.



Gambar 4.2 Perbandingan skema kooperatif dengan *relay selection* dan tanpa *relay selection*

Untuk tabel perbandingan BER antara skema kooperatif dengan *relay selection* dan tanpa *relay selection* ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut ini. *Relay 1 Selected Without Relay Selection in Cooperative* menunjukkan skema kooperatif pada salah satu *relay* tanpa melalui pemilihan *relay*. *1 Selected Relay in Cooperative* menunjukkan skema kooperatif dari hasil pemilihan *relay* dengan satu *relay* terbaik yang dipilih. Terlihat BER pada skema kooperatif dengan *relay selection* menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan skema

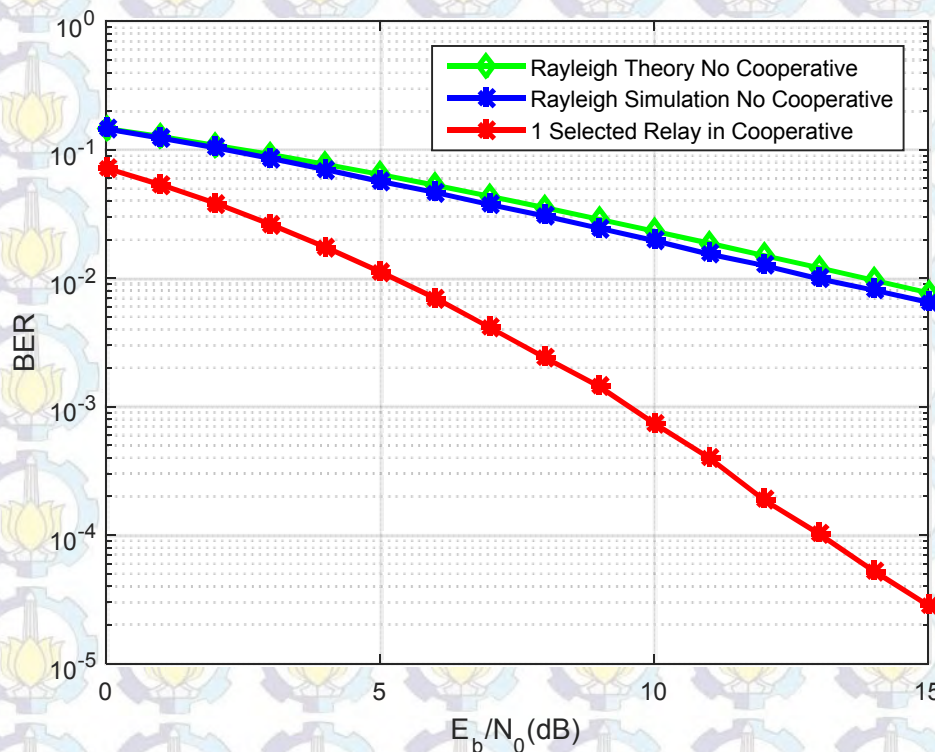
kooperatif tanpa *relay selection*. Selisih nilai perbandingannya yaitu 3.34771×10^{-3} .

Tabel 4.2 Perbandingan BER dengan *relay selection* dan tanpa *relay selection*

Variabel	E_b/N_0	BER
1 Selected Relay	10 dB	7.4055×10^{-4}
Without Relay Selection	10 dB	4.08826×10^{-3}

4.2.1 Skema Satu Relay Terbaik

Pada Gambar 4.3 digunakan kanal berdistribusi Rayleigh dengan *noise* AWGN dengan *mean* 0 dan *variance* σ^2 . Pada grafik ini, diasumsikan bahwa *destination* sudah mengetahui semua kondisi kanal dengan baik. *Relay Selection* adalah hasil *combining* dengan menggunakan MRC (*Maximal Ratio Combining*) antara *source* ke *destination* secara langsung dengan *relay* terbaik yang akan digunakan. Grafik dari 1 Selected Relay ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 *Relay selection* dengan satu *relay* terbaik

Proses simulasi ini adalah hasil *combining* dengan menggunakan MRC (*Maximal Ratio Combining*) antara *source* ke *destination* secara langsung dengan 1 *relay* terbaik dengan nilai SNR yang didapatkan melalui persamaan (2.28). Dari grafik terlihat bahwa hasil *relay selection* dengan AF lebih baik dibandingkan dengan simulasi dari *source* ke *destination* secara *direct*. Hal ini terlihat dari perbedaan Rayleigh Simulation dan 1 *Selected relay*. Dimana pada E_b/N_0 10 dB, BER pada Rayleigh Simulation yaitu 1.975361×10^{-2} sedangkan BER pada *Relay Selection* 1, jauh lebih kecil yaitu 7.7018×10^{-4} .

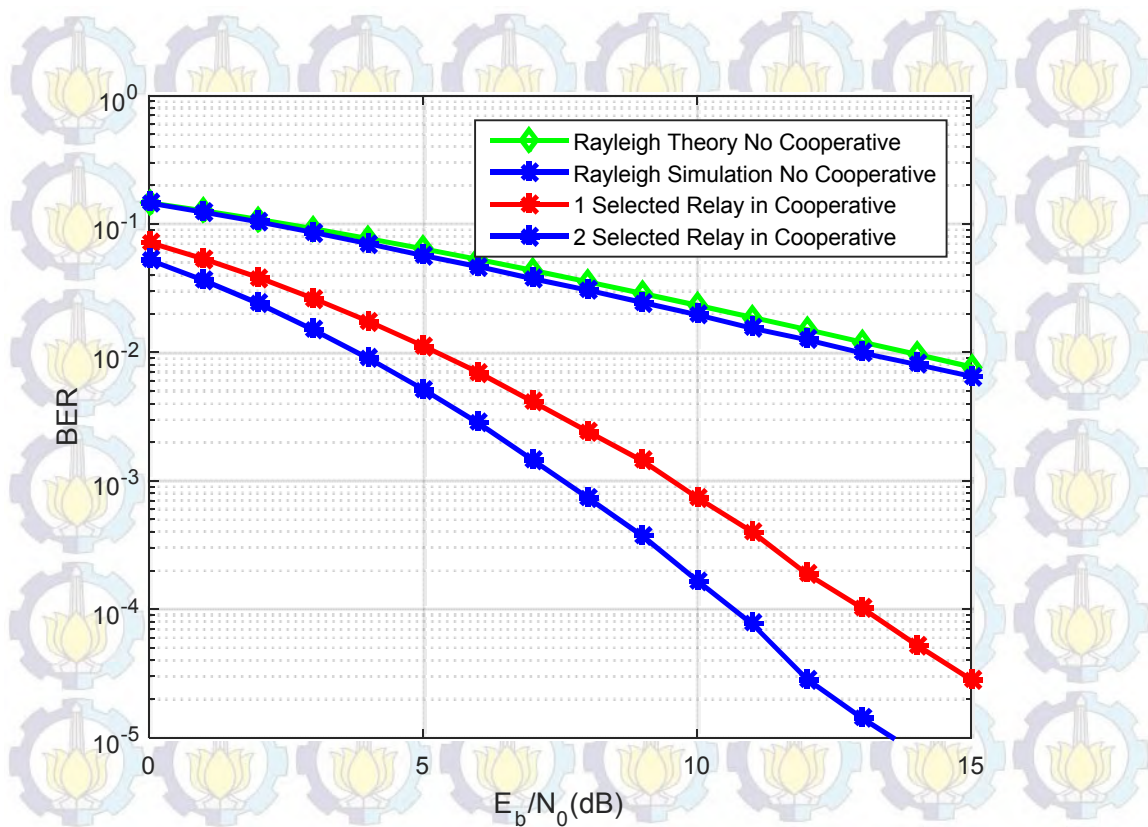
Dari hasil ini dapat dianalisa bahwa sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan 1 *relay* terbaik jauh lebih baik dibandingkan dengan sistem komunikasi non kooperatif, dimana selisih nilai BER yang diperoleh cukup besar yaitu 1.890163×10^{-2} . Hal ini juga berarti bahwa sistem komunikasi kooperatif pada bawah air terbukti lebih baik dibandingkan dengan sistem komunikasi non-kooperatif (yang tidak menggunakan *relay*). Sehingga sistem komunikasi kooperatif lebih baik daripada sistem komunikasi non-kooperatif pada bawah air. Pada Tabel 4.3 berikut ini adalah tabel perbandingan BER antara simulasi pada kanal Rayleigh dan satu *relay* yang terbaik.

Tabel 4.3 Perbandingan BER pada 1 *Selected relay*

Variabel	E_b/N_0	BER
Rayleigh Simulation	10 dB	1.964218×10^{-2}
1 <i>Selected Relay</i>	10 dB	7.4055×10^{-4}

4.2.2 Skema Dua *Relay* Terbaik

Pada Gambar 4.4 berikut ini menunjukkan perbandingan antara sistem komunikasi kooperatif bawah air dengan menggunakan satu *relay* terbaik dan dua *relay* terbaik yang masing-masing ditunjukkan oleh grafik 1 *Selected Relay* in Cooperative dan 2 *Selected Relay in Cooperative*.



Gambar 4.4 *Relay selection* dengan dua *relay* terbaik

Pada Gambar 4.4 di atas, digunakan kanal berdistribusi Rayleigh dengan *noise* AWGN dengan *mean* 0 dan *variance* σ^2 . Pada grafik ini, digunakan asumsi yang sama dengan sebelumnya pada Gambar 4.3. 2 *Selected relay* adalah hasil *combining* menggunakan MRC antara *source* ke *destination* secara langsung dengan dua *relay* terbaik sesuai dengan persamaan (2.28).

Dari grafik terlihat bahwa hasil *relay selection* dengan dua *relay* yang terbaik lebih baik dibandingkan dengan simulasi *relay selection* dengan satu *relay* yang terbaik. Hal ini terlihat dari perbedaan BER antara 1 *Selected relay* dan 2 *Selected relay*. Dimana pada E_b/N_0 10 dB, BER pada 1 *Selected relay* yaitu 7.4055×10^{-4} sedangkan BER pada 2 *Selected relay*, selisihnya lebih kecil yaitu 1.6673×10^{-4} . Dari hasil ini dapat dianalisa bahwa sistem komunikasi kooperatif yang menggunakan dua *relay* terbaik lebih baik dibandingkan dengan sistem komunikasi kooperatif yang menggunakan satu *relay* terbaik, dimana selisih nilai BER yang diperoleh cukup besar yaitu 5.7382×10^{-4} . Pada Tabel 4.4 berikut ini

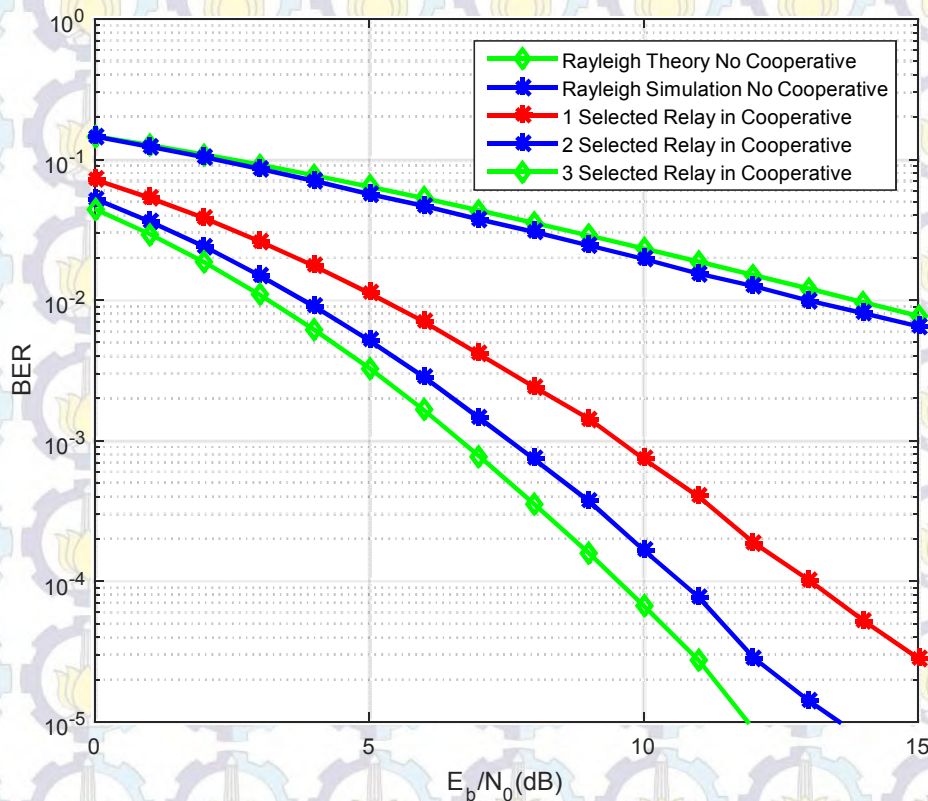
adalah tabel yang menunjukkan perbandingan BER antara 1 *Selected Relay* dan 2 *Selected Relay*.

Tabel 4.4 Perbandingan BER pada 1 *Selected Relay* dan 2 *Selected Relay*

Variabel	E_b/N_0	BER
1 <i>Selected Relay</i>	10 dB	7.4055×10^{-4}
2 <i>Selected Relay</i>	10 dB	1.6673×10^{-4}

4.2.3 Skema Tiga Relay Terbaik

Pada Gambar 4.5 di bawah ini, digunakan kanal berdistribusi Rayleigh dengan *noise* AWGN dengan *mean* 0 dan *variance* σ^2 . Pada grafik ini, digunakan asumsi yang sama dengan sebelumnya pada Gambar 4.3. 3 *Selected Relay* adalah hasil *combining* dengan menggunakan MRC (*Maximal Ratio Combining*) antara *source* ke *destination* secara langsung dengan tiga *relay* terbaik sesuai dengan persamaan pada (2.28).



Gambar 4.5 Relay selection dengan tiga relay terbaik

Dari hasil grafik pada Gambar 4.5 ini, dapat dianalisa bahwa sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan 3 *relay* terbaik lebih baik dibandingkan dengan sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan 1 *relay* terbaik dan 2 *relay* terbaik dengan BER yang cukup jauh selisihnya yaitu pada 1 *Selected Relay* dibandingkan 3 *Selected Relay* adalah 6.7355×10^{-4} , sedangkan pada 2 *Selected Relay* dibandingkan 3 *Selected Relay* adalah 9.973×10^{-5} . Pada Tabel 4.5 berikut ini adalah tabel yang menunjukkan perbandingan BER antara 1 *Selected Relay in Cooperative*, 2 *Selected Relay in Cooperative*, dan 3 *Selected Relay in Cooperative*.

Tabel 4.5 Perbandingan BER pada 1,2, dan 3 *Selected Relay*

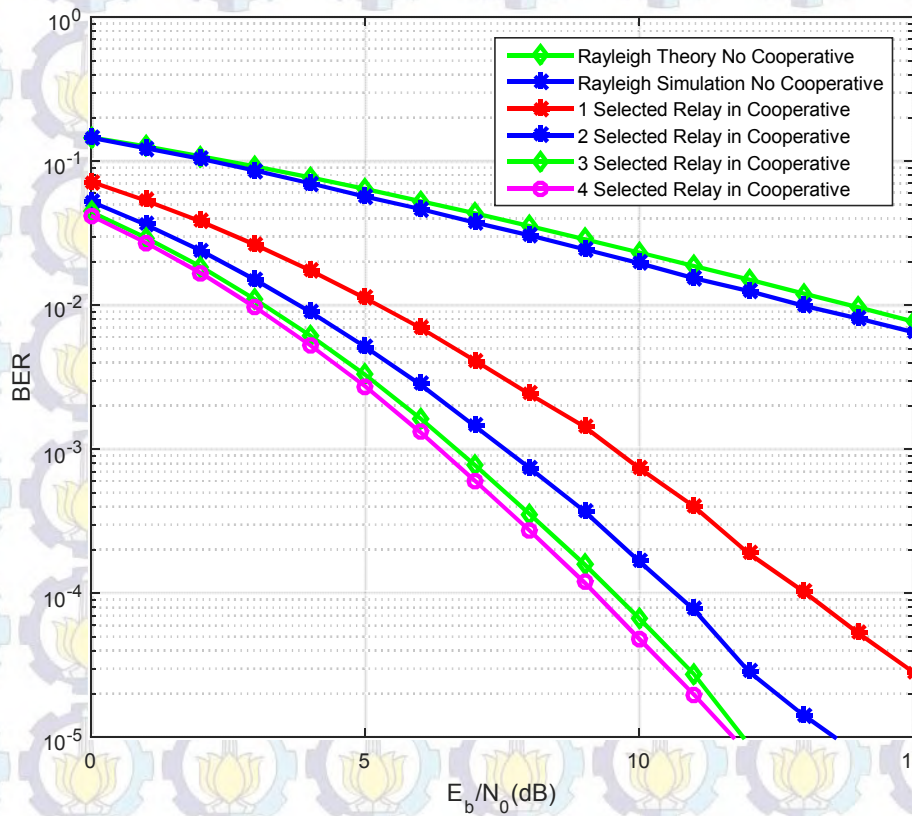
Variabel	E_b/N_0	BER
1 <i>Selected Relay</i>	10 dB	7.4055×10^{-4}
2 <i>Selected Relay</i>	10 dB	1.6673×10^{-4}
3 <i>Selected Relay</i>	10 dB	6.7×10^{-5}

4.2.4 Skema Empat Relay Terbaik

Pada Gambar 4.6 di bawah ini, digunakan kanal berdistribusi Rayleigh dengan *noise* AWGN dengan *mean* 0 dan *variance* σ^2 . Pada grafik ini, digunakan asumsi yang sama dengan sebelumnya pada Gambar 4.3. 4 *Selected Relay* adalah hasil *combining* dengan menggunakan MRC (*Maximal Ratio Combining*) antara *source* ke *destination* secara langsung dengan 4 *relay* yang terbaik sesuai dengan persamaan (2.28). Untuk lebih jelasnya, berikut ini adalah Gambar 4.6 yang menunjukkan hubungan dari satu, dua, tiga, dan empat *relay* terbaik yang masing-masing direpresentasikan oleh grafik dari 1 *Selected Relay in Cooperative*, 2 *Selected Relay in Cooperative*, 3 *Selected Relay in Cooperative*, dan 4 *Selected Relay in Cooperative*.

Dari grafik terlihat bahwa hasil *relay selection* dengan empat *relay* yang terbaik lebih baik dibandingkan dengan simulasi *relay selection* dengan satu *relay* terbaik, dua *relay* terbaik, dan tiga *relay* terbaik. Hal ini terlihat dari perbedaan BER antara 1, 2, 3, dan 4 *Selected Relay in Cooperative*. Dimana pada E_b/N_0 10 dB, BER pada 1 *Selected Relay in Cooperative* yaitu 7.4055×10^{-4} , BER pada 2

Selected Relay in Cooperative yaitu 1.6673×10^{-4} , BER pada 3 *Selected Relay in Cooperative* yaitu 6.7×10^{-5} , sedangkan BER pada 4 *Selected Relay in Cooperative* yaitu 4.835×10^{-5} .



Gambar 4.6 *Relay selection* dengan empat *relay* terbaik

Pada Tabel 4.6 berikut ini adalah tabel yang menunjukkan perbandingan BER antara 1, 2, 3, dan 4 *Selected Relay in Cooperative*.

Tabel 4.6 Perbandingan BER pada semua *Selected Relay*

Variabel	E_b/N_0	BER
1 <i>Selected Relay</i>	10 dB	7.4055×10^{-4}
2 <i>Selected Relay</i>	10 dB	1.6673×10^{-4}
3 <i>Selected Relay</i>	10 dB	6.7×10^{-5}
4 <i>Selected Relay</i>	10 dB	4.835×10^{-5}

Dari hasil ini dapat dianalisa bahwa sistem komunikasi kooperatif dengan menggunakan empat *relay* terbaik adalah sistem *Relay Selection* yang terbaik dibandingkan dengan sistem komunikasi kooperatif yang menggunakan satu *relay* terbaik, dua *relay* terbaik, dan tiga *relay* terbaik dengan BER yang cukup jauh selisihnya yaitu pada 1 *Selected Relay in Cooperative* dibandingkan 4 *Selected Relay in Cooperative* adalah 2.5705×10^{-4} , pada 2 *Selected Relay in Cooperative* dibandingkan 4 *Selected Relay in Cooperative* adalah 1.1838×10^{-4} , sedangkan pada 3 *Selected Relay in Cooperative* dibandingkan 4 *Selected Relay in Cooperative* adalah 1.865×10^{-5} . Tabel 4.7 berikut adalah perbandingan tiap BER.

Tabel 4.7 Perbandingan BER untuk teori ,simulasi, dan tanpa *relay selection*

E_b/N_0 (dB)	Rayleigh Theory	Rayleigh Simulation	Tanpa Relay Selection
-1	1.6732585×10^{-1}	1.685247×10^{-1}	1.2786767×10^{-1}
0	1.4644661×10^{-1}	1.4559413×10^{-1}	1.0408611×10^{-1}
1	1.2673346×10^{-1}	1.2319986×10^{-1}	8.247415×10^{-2}
2	1.0848473×10^{-1}	1.0387222×10^{-1}	6.403764×10^{-2}
3	9.1913176×10^{-2}	8.590777×10^{-2}	4.835339×10^{-2}
4	7.7136916×10^{-2}	7.028458×10^{-2}	3.589489×10^{-2}
5	6.4182685×10^{-2}	5.687396×10^{-2}	2.590584×10^{-2}
6	5.2998884×10^{-2}	4.667389×10^{-2}	1.858794×10^{-2}
7	4.3474407×10^{-2}	3.746581×10^{-2}	1.299769×10^{-2}
8	3.5459068×10^{-2}	3.057×10^{-2}	9.03478×10^{-3}
9	2.8782367×10^{-2}	2.448963×10^{-2}	6.12526×10^{-3}
10	2.3268705×10^{-2}	1.964218×10^{-2}	4.08826×10^{-3}
11	1.8748391×10^{-2}	1.542117×10^{-2}	2.65848×10^{-3}
12	1.506468×10^{-2}	1.256985×10^{-2}	1.80285×10^{-3}
13	1.2077547×10^{-2}	9.92638×10^{-3}	1.14154×10^{-3}
14	9.665039×10^{-3}	8.07876×10^{-3}	7.247×10^{-4}
15	7.723002×10^{-3}	6.51344×10^{-3}	5.4161×10^{-4}

Pada Tabel 4.7 di atas menunjukkan perbandingan BER berdasarkan setiap nilai E_b/N_0 . Tabel ini adalah perbandingan BER untuk masing-masing node berdasarkan E_b/N_0 dari -1 dB – 15 dB. Sesuai dengan grafik pada Gambar 4.5, pada Tabel 4.6 Rayleigh Theory menunjukkan teori pada kanal Rayleigh, Rayleigh Simulation menunjukkan simulasi pada kanal Rayleigh. Pada Gambar 4.2, Tanpa *Relay Selection* merepresentasikan *Relay 1 Selected Without Relay Selection in Cooperative*. Tabel 4.8 berikut menunjukkan perbandingan BER untuk masing-masing *Selected Relay*.

Tabel 4.8 Perbandingan BER untuk *Selected Relay*

E_b/N_0 (dB)	1 <i>Selected</i> <i>Relay</i>	2 <i>Selected</i> <i>Relay</i>	3 <i>Selected</i> <i>Relay</i>	4 <i>Selected</i> <i>Relay</i>
-1	9.436262×10^{-2}	7.302499×10^{-2}	6.405992×10^{-2}	6.104287×10^{-2}
0	7.208611×10^{-2}	5.258183×10^{-2}	4.452892×10^{-2}	4.186166×10^{-2}
1	5.33315×10^{-2}	3.628236×10^{-2}	2.947346×10^{-2}	2.721197×10^{-2}
2	3.825255×10^{-2}	2.401461×10^{-2}	1.855758×10^{-2}	1.678973×10^{-2}
3	2.625406×10^{-2}	1.498345×10^{-2}	1.09422×10^{-2}	9.64942×10^{-3}
4	1.745801×10^{-2}	8.99599×10^{-3}	6.15258×10^{-3}	5.27748×10^{-3}
5	1.121517×10^{-2}	5.16326×10^{-3}	3.28981×10^{-3}	2.74083×10^{-3}
6	7.01335×10^{-3}	2.83068×10^{-3}	1.64818×10^{-3}	1.32206×10^{-3}
7	4.13333×10^{-3}	1.45341×10^{-3}	7.7675×10^{-4}	6.0686×10^{-4}
8	2.41895×10^{-3}	7.4167×10^{-4}	3.554×10^{-4}	2.7334×10^{-4}
9	1.43301×10^{-3}	3.7218×10^{-4}	0.15937×10^{-4}	1.1908×10^{-4}
10	7.4055×10^{-4}	1.6673×10^{-4}	6.7×10^{-5}	4.835×10^{-5}
11	4.0034×10^{-4}	7.717×10^{-5}	2.752×10^{-5}	1.977×10^{-5}
12	1.8865×10^{-4}	2.862×10^{-5}	8.92×10^{-6}	7.63×10^{-6}
13	1.0279×10^{-4}	1.424×10^{-5}	4.45×10^{-6}	3.68×10^{-6}
14	5.28×10^{-5}	7.64×10^{-6}	2.46×10^{-6}	1.54×10^{-6}
15	2.835×10^{-5}	2.51×10^{-6}	7.5×10^{-7}	7.2×10^{-7}

Sesuai dengan grafik pada Gambar 4.6, pada Tabel 4.8, 1 *Selected Relay* menunjukkan satu *relay* terbaik yang dipilih, 2 *Selected Relay* menunjukkan dua *relay* terbaik yang dipilih, 3 *Selected Relay* menunjukkan tiga *relay* terbaik yang dipilih, dan 4 *Selected Relay* menunjukkan empat *relay* terbaik yang dipilih.

4.3 Analisa Pengaturan Urutan Waktu Transmisi *Relay*

Asumsi pengaturan urutan waktu transmisi *relay* ini bahwa *destination* sudah menerima seluruh informasi dari *relay* yang terbaik dengan benar, baru kemudian dapat melanjutkan proses transmisi paket data berikutnya. Parameter yang digunakan yaitu seperti pada Tabel 3.3 pada bab sebelumnya. Analisa pengaturan urutan waktu transmisi *relay* ini berdasarkan [5] seperti yang telah disebutkan pada Bab II. Pada saat pengaturan urutan waktu transmisi *relay* dengan menggunakan dua *relay* terbaik, tiga *relay* terbaik, dan empat *relay* terbaik digunakan *guard time* sehingga data tidak akan bertabrakan apabila sampai di *destination*. Oleh karena itu pemberian *delay* pada salah satu, dua, dan tiga *relay* terbaik seperti yang dijelaskan di bab 3 dengan persamaan waktu tunda di bab 3 diperlukan untuk menghindari terjadinya tabrakan ini. Tabel 4.9 berikut adalah tabel perbandingan yang menunjukkan waktu total rata-rata dari satu, dua, tiga, dan empat *relay* terbaik.

Tabel 4.9 Perbandingan waktu total rata-rata

No	<i>Relay</i>	Waktu Tempuh
1	Satu <i>Relay</i> Terbaik	2.7243695 detik
2	Dua <i>Relay</i> Terbaik	3.747809 detik
3	Tiga <i>Relay</i> Terbaik	4.7813898 detik
4	Empat <i>Relay</i> Terbaik	5.820386 detik

Pada simulasi pengaturan urutan waktu transmisi *relay* ini, waktu yang ditempuh pada *relay selection* dengan satu *relay* terbaik menunjukkan waktu tempuh selama 2.7243695 detik. Sedangkan pada *relay selection* dengan dua *relay* terbaik menunjukkan waktu tempuh selama 3.747809 detik. Kemudian pada *relay*

selection dengan tiga *relay* terbaik menunjukkan waktu tempuh selama 4.7813898 detik. Terakhir, pada *relay selection* dengan empat *relay* terbaik menunjukkan waktu tempuh selama 5.820386 detik.

4.3.1 Skema Satu *Relay* Terbaik

Berikut ini adalah analisa dari pengaturan urutan waktu transmisi *relay* pada satu *relay* terbaik. Waktu yang didapatkan pada proses ini adalah penjumlahan waktu dari 9 bit perintah dari *destination*, ditambah durasi propagasi *destination* ke *relay*, ditambah durasi propagasi dari *relay* terpilih dengan durasi propagasi yang paling minimum ke *destination*, ditambah dengan durasi paket data yang akan diteruskan ke *destination*, ditambah dengan durasi propagasi dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua pilot dari masing-masing *relay* diterima di *destination*. Hasil dari proses ini menghasilkan durasi propagasi 2.7243695 detik.

Sesuai dengan Tabel 3.3, durasi paket data dari *source* dan dari *relay* adalah masing-masing 1 detik. Maka, waktu yang sampai di *destination* berdasarkan pada persamaan (3.5) pasti lebih dari 2 detik. Hal ini sesuai dengan hasil simulasi waktu t_1 yang berdurasi 2.7243695 detik. Dengan demikian, waktu yang diperlukan untuk mengirim pilot dan menunggu perintah dari *destination* selama 0.7243695 detik.

4.3.2 Skema Dua *Relay* Terbaik

Untuk analisa selanjutnya yaitu pengaturan urutan waktu transmisi *relay* pada dua *relay* terbaik. Waktu yang didapatkan pada proses ini adalah penjumlahan waktu dari 44 bit perintah dari *destination*, ditambah durasi propagasi *destination* ke *relay*, ditambah durasi propagasi dari *relay* terpilih dengan durasi propagasi yang paling minimum ke *destination*, ditambah dengan durasi paket data yang akan diteruskan ke *destination* dari *relay* terpilih pertama, ditambah dengan durasi paket data yang akan diteruskan ke *destination* dari *relay* terpilih kedua, ditambah dengan dua *guard time* (selisih waktu antara panjang paket data *relay* terbaik sampai di *destination* dan awal panjang paket data *relay*

terbaik kedua yang akan tiba di *destination*), ditambah dengan durasi propagasi dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua pilot dari masing-masing *relay* diterima di *destination*. Sedangkan waktu tunda yang digunakan pada skema dua *relay* terbaik ini sesuai dengan persamaan (3.6). Hasil dari proses ini menghasilkan durasi propagasi 3.747809 detik.

Sesuai dengan data pada Tabel 3.3, durasi paket data dari *source* dan dari dua *relay* adalah masing-masing 1 detik, dan durasi *guard time* adalah 0.01 detik. Maka, waktu yang sampai di *destination* berdasarkan persamaan (3.7) pasti lebih dari 3.01 detik. Hal ini sesuai dengan hasil simulasi waktu t_2 yang berdurasi 3.747809 detik. Dengan demikian, waktu yang diperlukan untuk mengirim pilot dan menunggu perintah dari *destination* selama 0.737809 detik.

4.3.3 Skema Tiga Relay Terbaik

Pada proses pengaturan urutan waktu transmisi *relay* untuk tiga *relay* terbaik waktu yang didapatkan pada proses ini adalah penjumlahan waktu dari 79 bit perintah dari *destination*, ditambah durasi propagasi *destination* ke *relay*, ditambah durasi propagasi dari *relay* terpilih dengan durasi propagasi yang paling minimum ke *destination*, ditambah dengan durasi paket data yang akan diteruskan ke *destination* dari *relay* terpilih pertama, ditambah dengan durasi paket data yang akan diteruskan ke *destination* dari *relay* terpilih kedua, ditambah dengan durasi paket data yang akan diteruskan ke *destination* dari *relay* terpilih ketiga, ditambah dengan tiga *guard time*, ditambah dengan durasi propagasi dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua pilot dari masing-masing *relay* diterima di *destination*. Sedangkan waktu tunda yang digunakan pada skema tiga *relay* terbaik ini sesuai dengan persamaan (3.8) dan persamaan (3.9). Hasil dari proses ini menghasilkan durasi propagasi 4.7813898 detik.

Sesuai dengan data pada Tabel 3.3, durasi paket data dari *source* dan dari tiga *relay* adalah masing-masing 4 detik, dan durasi dua *guard time* adalah 0.01 detik. Maka, waktu yang sampai di *destination* berdasarkan persamaan (3.10) pasti lebih dari 4.02 detik. Hal ini sesuai dengan hasil simulasi waktu t_3 yang

berdurasi 4.7813898 detik. Dengan demikian, waktu yang diperlukan untuk mengirim pilot dan menunggu perintah dari *destination* selama 4.7613898 detik.

4.3.4 Skema Empat *Relay* Terbaik

Sedangkan untuk proses pengaturan urutan waktu transmisi *relay* untuk empat *relay* terbaik adalah penjumlahan waktu dari 114 bit perintah dari *destination*, ditambah durasi propagasi *destination* ke *relay*, ditambah durasi propagasi dari *relay* terpilih dengan durasi propagasi yang paling minimum ke *destination*, ditambah dengan durasi paket data yang akan diteruskan ke *destination* dari *relay* terpilih pertama, ditambah dengan durasi paket data yang akan diteruskan ke *destination* dari *relay* terpilih kedua, ditambah dengan durasi paket data yang akan diteruskan ke *destination* dari *relay* terpilih ketiga, ditambah dengan durasi paket data yang akan diteruskan ke *destination* dari *relay* terpilih keempat, ditambah dengan tiga *guard time*, durasi propagasi dari pertama kali *source* mengirim data sampai semua pilot dari masing-masing *relay* diterima di *destination*. Sedangkan waktu tunda yang digunakan pada skema tiga *relay* terbaik ini sesuai dengan persamaan (3.11), persamaan (3.12), dan persamaan (3.13). Hasil dari proses ini menghasilkan durasi propagasi 5.820386 detik.

Sesuai dengan data pada Tabel 3.3, durasi paket data dari *source* dan dari empat *relay* adalah masing-masing 5 detik, dan durasi tiga *guard time* adalah 0.01 detik. Maka, waktu yang sampai di *destination* berdasarkan persamaan (3.14) pasti lebih dari 5.03 detik. Hal ini sesuai dengan hasil simulasi waktu t_4 yang berdurasi 5.820386 detik. Dengan demikian, waktu yang diperlukan untuk mengirim pilot dan menunggu perintah dari *destination* selama 0.790386 detik. Pada Tabel 4.10 berikut ini adalah perbandingan total waktu di *destination* pada tiap skema *relay*.

Tabel 4.10 Perbandingan total waktu di *destination* pada tiap skema *relay*

E_b/N_0 (dB)	1 Selected Relay (detik)	2 Selected Relay (detik)	3 Selected Relay (detik)	4 Selected Relay (detik)
-1	2.723767	3.747254	4.781158	5.820386
1	2.723894	3.747353	4.781204	5.820386
2	2.723857	3.747407	4.781232	5.820386
3	2.724371	3.74775	4.781328	5.820386
4	2.724281	3.747729	4.781375	5.820386
5	2.724391	3.747783	4.781369	5.820386
6	2.724574	3.747967	4.781406	5.820386
7	2.724264	3.747792	4.781417	5.820386
8	2.724393	3.747836	4.781446	5.820386
9	2.724371	3.747953	4.781454	5.820386
10	2.72458	3.747935	4.781434	5.820386
11	2.724501	3.748004	4.781446	5.820386
12	2.724597	3.747967	4.781478	5.820386
13	2.724681	3.748069	4.78146	5.820386
14	2.724719	3.748051	4.781501	5.820386
15	2.7245	3.747928	4.78147	5.820386

Dari hasil simulasi ini, diketahui bahwa penggunaan *relay* yang lebih banyak pada skema komunikasi kooperatif bawah air dapat meningkatkan kinerja dari hasil sinyal yang digabungkan (dari *source* dan *relay*) pada *destination* (dilihat dari semakin banyak *relay* yang digunakan, nilai BER akan semakin kecil). Akan tetapi, lebih banyak *node* yang digunakan berarti akan mengakibatkan waktu yang dibutuhkan untuk pengiriman satu paket lengkap (kombinasi antara *direct* dan masing-masing *relay*) menyebabkan durasi propagasi yang semakin panjang (waktu tempuh semakin lama).

BAB V

PENUTUP

Penelitian ini telah dirancang, direncanakan, dan diuji. Berdasarkan dari pengujian dan analisa yang dilakukan, dapat diambil beberapa poin yang dapat ditarik sebagai kesimpulan. Masalah dan tantangan yang dihadapi selama penelitian ini memberikan pelajaran yang dapat diambil sebagai saran pengembangan maupun sebagai saran penelitian lebih lanjut.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dari proses simulasi yang telah dilakukan pada Bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Skema pemilihan *relay* terbaik dengan parameter E_b/N_0 tertinggi dan BER yang rendah pada sistem komunikasi kooperatif menghasilkan nilai BER yang baik. Dengan E_b/N_0 10 dB, BER yang didapatkan pada skema pemilihan kooperatif dengan satu *relay* terbaik adalah 7.4055×10^{-4} sedangkan BER yang didapatkan pada skema tanpa kooperatif adalah 1.964218×10^{-2} .
2. Skema pemilihan *relay* terbaik menghasilkan nilai BER yang lebih baik dibandingkan dengan skema tanpa pemilihan *relay* terbaik. Dengan E_b/N_0 10 dB, BER yang didapatkan pada skema pemilihan *relay* terbaik adalah 7.4055×10^{-4} sedangkan BER yang didapatkan pada skema tanpa pemilihan *relay* terbaik adalah 4.08826×10^{-3} .
3. Jumlah *relay* berpengaruh terhadap reliabilitas sistem komunikasi kooperatif. Dapat dilihat dari semakin banyak jumlah *relay*, BER yang dihasilkan semakin kecil, dengan 4 *relay* terbaik, didapatkan BER dengan nilai 4.835×10^{-5} .
4. Waktu tempuh yang dicapai oleh empat *relay* terbaik lebih lama dibandingkan dengan satu *relay* terbaik pada simulasi. Dapat dilihat dari semakin banyak jumlah *relay*, waktu tempuh menjadi semakin lama, dengan

satu relay terbaik, didapatkan waktu tempuh 2.7243695 detik. Sedangkan dengan empat *relay* terbaik, didapatkan waktu tempuh 5.820386 detik.

5.1 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah sebagai berikut :

1. Untuk sistem pemodelan kanal bawah air dapat digunakan untuk tap yang lebih dari 1 tap dengan jarak lebih dari 100 meter.
2. Dapat dilakukan percobaan dengan membandingkan antara simulasi dengan pengukuran *real* untuk laut dalam (*deep water*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jiang, Zaihan. "Underwater acoustic networks—issues and solutions." *International journal of intelligent control and systems* 13.3 (2008): 152-161.
- [2] Partan, Jim, Jim Kurose, and Brian Neil Levine. "A survey of practical issues in underwater networks." *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 11.4 (2007): 23-33.
- [3] Stojanovic, Milica. "On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel." *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 11.4 (2007): 34-43.
- [4] Stojanovic, Milica. "Capacity of a relay acoustic channel." *OCEANS 2007*. IEEE, 2007.
- [5] Gao, Chao, et al. "Relay selection scheme based on propagation delay for cooperative underwater acoustic network." *Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2013 International Conference on*. IEEE, 2013.
- [6] Asterjadhi, Alfred, et al. *Underwater acoustic networking techniques*. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer, 2012.
- [7] Han, Zhu, Yan Lindsay Sun, and Hongyuan Shi. "Cooperative transmission for underwater acoustic communications." *Communications, 2008. ICC'08. IEEE International Conference on*. IEEE, 2008.
- [8] Jalil, A., and Ali Ghayeb. "Distributed Channel Coding for Underwater Acoustic Cooperative Networks." (2014): 1-9.
- [9] Luo, Yu, et al. "Effective Relay Selection for Underwater Cooperative Acoustic Networks." *Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS), 2013 IEEE 10th International Conference on*. IEEE, 2013.
- [10] Etter, Paul C. *Underwater acoustic modeling and simulation*. CRC Press, 2013.
- [11] Hong, Y-W. Peter, Wan-Jen Huang, and C-C. Jay Kuo. *Cooperative communications and networking: technologies and system design*. Springer, 2010.
- [12] Vajapeyam, Madhavan, et al. "Distributed space-time cooperative schemes for underwater acoustic communications." *Oceanic Engineering, IEEE Journal of* 33.4 (2008): 489-501.
- [13] Wang, Ping, et al. "Asynchronous cooperative transmission in underwater acoustic networks." *Underwater Technology (UT), 2011 IEEE Symposium on and 2011*

- Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies (SSC).* IEEE, 2011.
- [14] Karakaya, Bahattin, et al. "Relay selection for cooperative underwater acoustic communication systems." *Telecommunications (ICT), 2012 19th International Conference on*. IEEE, 2012.
- [15] Llor, J.; Malumbres, M.P. "Statistical Modeling of Large-Scale Signal Path Loss in Underwater Acoustic Networks." *Sensors* 2013, *13*, 2279-2294.
- [16] Qarabaqi, Parastoo, and Milica Stojanovic. "Statistical characterization and computationally efficient modeling of a class of underwater acoustic communication channels." *Oceanic Engineering, IEEE Journal of* 38.4 (2013): 701-717.
- [17] Ismail, Nor-Syahidatul N., Liban Abdullahi Hussein, and Sharifah HS Ariffin. "Analyzing the performance of acoustic channel in underwater wireless sensor network (UWSN)." *Mathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation (AMS), 2010 Fourth Asia International Conference on*. IEEE, 2010.
- [18] Liu, Lanbo, Shengli Zhou, and Jun-Hong Cui. "Prospects and problems of wireless communication for underwater sensor networks." *Wireless Communications and Mobile Computing* 8.8 (2008): 977-994.
- [19] Parenreng, Mardawia M. , Estimasi Kanal Akustik Bawah Air untuk Perairan Dangkal, Tesis Master, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013.
- [20] Lurton, Xavier. *An introduction to underwater acoustics: principles and applications*. springer, 2002.
- [21] Climent, Salvador, et al. "Underwater acoustic wireless sensor networks: advances and future trends in physical, MAC and routing layers." *Sensors* 14.1 (2014): 795-833.
- [22] John G.. Proakis, and Masoud Salehi. *Digital communications*. McGraw-Hill, 2008.
- [23] Pamula, Vinay Kumar, et al. "Outage performance analysis of basic receive diversity combining schemes in Nakagami-0.5 fading channel." *Circuits and Systems (MWSCAS), 2013 IEEE 56th International Midwest Symposium on*. IEEE, 2013.
- [24] Bletsas, Aggelos, et al. "A simple cooperative diversity method based on network path selection." *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on* 24.3 (2006): 659-672.
- [25] Google Maps, "Google Maps " [Online]
<https://www.google.co.id/maps/place/6%C2%B037'30.0%22S+118%C2%B037'30.0%22E/@-6.830041,116.6690688,6.67z/data=!4m2!3m1!1s0x0:0x0>, 2015

LAMPIRAN

Listing Program untuk simulasi Pemilihan Relay Terbaik untuk Sistem Komunikasi Kooperatif pada Jaringan Akustik Bawah Air

```

##### Bismillah #####
##### Arum Shadewi Ittaqa #####
##### ITS 2016 #####

clear all;
close all;
clc;

tic
%koordinat dari node
Nr=4;
coord{1}=[0, 50];
coord{2}=[20, 30];
coord{3}=[55, 40];
coord{4}=[40, 80];
coord{5}=[70, 60];
coord{6}=[100, 50];
freq=12;

N=1000;
Npilot=32;
iter=100000;
ip = rand(1,N)>0.5;
probability
s = 2*ip-1;
ebnodb=[-1:1:15];
m_noNodes=4;
delta=0.1;
bitrate=1000;
Dpakets=(N+Npilot)/bitrate;
Dpaketr=N/bitrate;
Dpilrd=134/bitrate;
Ddr1=9/bitrate;
ke relay saat 1 relay dipilih
Ddr2=44/bitrate;
relay saat 2 relay dipilih
Ddr3=79/bitrate;
relay saat 3 relay dipilih
Ddr4=114/bitrate;
relay saat 4 relay dipilih
gtime=0.01;
paket lainnya

%jumlah relay
%Tx
%node1
%node2
%node3
%node4
%Rx
%frekuensi
% jumlah bit
% jumlah bit pilot
% iterasi
% generating 0,1 with equal
% modulasi BPSK 0 -> -1; 1 -> 1
%number of nodes
%delta in second
%bit per second
%durasi paket data dari source
%durasi paket data tanpa pilot
%durasi pilot relay-destination
%durasi perintah dari destination
%durasi perintah dari destination-
%durasi perintah dari destination-
%durasi perintah dari destination-
%guard time antara 1 paket dan

Pssr(1)=10^-(attthorp(CalcDistance(coord{1},coord{2}),freq)/10);
%redaman dengan geo spreading & Thorp
Pssr(2)=10^-(attthorp(CalcDistance(coord{1},coord{3}),freq)/10);
Pssr(3)=10^-(attthorp(CalcDistance(coord{1},coord{4}),freq)/10);

```



```

Pssr(4)=10^-(attthorp(CalcDistance(coord{1},coord{5}),freq)/10);
Pssd=10^-(attthorp(CalcDistance(coord{1},coord{6}),freq)/10);
Psr(1)=10^-(attthorp(CalcDistance(coord{2},coord{6}),freq)/10);
Psr(2)=10^-(attthorp(CalcDistance(coord{3},coord{6}),freq)/10);
Psr(3)=10^-(attthorp(CalcDistance(coord{4},coord{6}),freq)/10);
Psr(4)=10^-(attthorp(CalcDistance(coord{5},coord{6}),freq)/10);

varsd=Pssd/2;
for c=1:Nr
    varsr(c)=Pssr(c)/2; %variance
    power of Tx-relay kanal
    varrd(c)=Psr(c)/2; %variance
    power of relay-Rx kanal
    m_distsr(c)=CalcDistance(coord{1}, coord{c+1}); %jarak
    source -relay
    m_distrd(c)=CalcDistance(coord{6}, coord{c+1}); %jarak
    relay-destination
    m_propdlysr(c)=CalcPropDelay(m_distsr(c)); %propagasi
    delay dari source-relay
    m_propdlyrd(c)=CalcPropDelay(m_distrd(c)); %propagasi
    delay dari relay-destination
end
varsd=Pssd/2; %variance
power of Tx-Rx kanal

m_distsd=CalcDistance(coord{6}, coord{1}); %jarak
source-destination
T1=CalcPropDelay(m_distsd); %propagasi
delay dari source-destination
timeslot=delta*[1 2 3 4]; %waktu
tunda untuk tiap relay
m_delayrly=m_propdlysr+Dpakets; %waktu
dari source ke msg2 relay+panjang paket
m_delaysrd=m_delayrly+timeslot+Dpilrd+m_propdlyrd; %delay
dari source-relay-destination

for i=1:m_noNodes
    t(i)=m_delaysrd(i)-T1-timeslot(i);
end
[y i]=min(t);
Ndelay = t;

nErr=zeros(1,length(ebnodb)); %matrix data yang diterima
nErrsel=zeros(1,length(ebnodb));
nErrsel2=zeros(1,length(ebnodb));
nErrsel3=zeros(1,length(ebnodb));
nErrsel4=zeros(1,length(ebnodb));
nErrmrc=zeros(Nr,length(ebnodb));

deltot=zeros(1,length(ebnodb));
del2tot=zeros(1,length(ebnodb));
del3tot=zeros(1,length(ebnodb));
del4tot=zeros(1,length(ebnodb));

for k=1:length(ebnodb)
    ebno=10^(ebnodb(k)/10);

```



```

pn=Pssd/ebno; %daya noise dibagi dengan ebno
yang diinginkan
varnoi=pn/2; %variance noise
for l=1:iter;
    %membangkitkan kanal
    hsd=sqrt(varsd)*(randn(1,1) + sqrt(-1)*rand(1,1));
    %membangkitkan noise
    nsd=sqrt(varnoi)*(randn(1,N) + sqrt(-1)*rand(1,N));
    %sinyal yang diterima Tx-Rx
    ysd=s*hsd+nsd;
    for c=1:Nr
        hsr(c)=sqrt(varsr(c))*(randn(1,1) + sqrt(-1)*rand(1,1)); %membangkitkan kanal Tx-tiap relay
        hrd(c)=sqrt(varrd(c))*(randn(1,1) + sqrt(-1)*rand(1,1)); %membangkitkan kanal tiap relay-Rx
        nsr(c,:)=sqrt(varnoi)*(randn(1,N) + sqrt(-1)*rand(1,N)); %membangkitkan noise Tx-tiap relay
        nrd(c,:)=sqrt(varnoi)*(randn(1,N) + sqrt(-1)*rand(1,N)); %membangkitkan noise tiap relay-Rx
        ysr(c,:)=s.*hsr(c)+nsr(c,:);
        %sinyal yang diterima Tx-r1
        Gaf(c)=1/sqrt(abs(hsr(c))^2+varnoi);
        %amplification factor AF
        snrsr(c)=abs(hsr(c))^2/varnoi;
        %SNR yang diterima di tiap relay dari Tx
        snrrd(c)=(abs(hrd(c))^2)*Gaf(c)/varnoi;
        %SNR yang diterima di Rx dari tiap relay
        snrsrd(c)=(snrsr(c)*snrrd(c))/(snrsr(c)+snrrd(c)+1);
        %SNR yang diterima di Rx dari tiap Tx dan relay
        yrd(c,:)=ysr(c,:).*Gaf(c)*hrd(c)+nrd(c,:);
        %sinyal yang diterima at Rx dari tiap relay

        ymrc(c,:)=ysd.*conj(hsd)+yrd(c,:).*conj(hsr(c)).*hrd(c); %MRC at receiver
        bithatmrc(c,:)=real(ymrc(c,:))>0;
        %bit MRC di tiap relay
        nErrmrc(c,k) = nErrmrc(c,k)+ size(find([ip-bithatmrc(c,:) ]),2); %menghitung error pada MRC
        bermrc(c,k)=nErrmrc(c,k)/(N*iter);
        %ber MRC
    end
    [vm ind]=sort(snrsrd,'descend');
    %vm:nilai maximum, ind:index

    ymrcsel=ysd.*conj(hsd)+yrd(ind(1),:).*conj(hsr(ind(1))).*hrd(ind(1)); %mrc selection
    bithatsel=real(ymrcsel)>0;
    %bit MRC selection
    dellt=m_propdlyrd(ind(1))*2+Ddr1+Dpaketr+max(m_delaysrd);
    %waktu saat 1 relay terbaik
    deltot(k)=deltot(k)+dellt;

    ymrcsel2=ysd.*conj(hsd)+yrd(ind(1),:).*conj(hsr(ind(1))).*hrd(ind(1))+yrd(ind(2),:).*conj(hsr(ind(2))).*hrd(ind(2)); %mrc selection
    bithatsel2=real(ymrcsel2)>0;
    %bit MRC selection

```



```

%del2t=m_propdlyrd(ind(1))*2+2*Dpakets+Ddr2+abs(m_propdlysr(ind(1))
)-m_propdlysr(ind(2))+max(m_delaysrd);

%del2t=((2*min(m_propdlyrd(ind(1)),m_propdlyrd(ind(2))))+Dpaketr+g
time)-(2*max(m_propdlyrd(ind(1)),m_propdlyrd(ind(2)))); %total
waktu yang ditempuh

del2t=max(m_delaysrd)+Ddr2+(2*min(m_propdlyrd(ind(1:2))))+2*Dpaket
r+gtime; %total waktu yang ditempuh s-d dan r-d
del2tot(k)=del2tot(k)+del2t;

ymrcsel3=ysd.*conj(hsd)+yrd(ind(1),:).*conj(hsr(ind(1)).*hrd(ind(1
)))+yrd(ind(2),:).*conj(hsr(ind(2)).*hrd(ind(2)))+yrd(ind(3),:).*c
onj(hsr(ind(3)).*hrd(ind(3)));%mrc selection
bithatsel3=real(ymrcsel3)>0;
%bit MRC selection

del3t=max(m_delaysrd)+Ddr3+(2*min(m_propdlyrd(ind(1:3))))+3*Dpaket
r+2*gtime; %total waktu yang ditempuh
del3tot(k)=del3tot(k)+del3t;

ymrcsel4=ysd.*conj(hsd)+yrd(ind(1),:).*conj(hsr(ind(1)).*hrd(ind(1
)))+yrd(ind(2),:).*conj(hsr(ind(2)).*hrd(ind(2)))+yrd(ind(3),:).*c
onj(hsr(ind(3)).*hrd(ind(3)))+yrd(ind(4),:).*conj(hsr(ind(4)).*hrd
(ind(4)));%mrc selection
bithatsel4=real(ymrcsel4)>0;
%bit MRC selection

del4t=max(m_delaysrd)+Ddr4+(2*min(m_propdlyrd(ind(1:4))))+4*Dpaket
r+3*gtime; %total waktu yang ditempuh
del4tot(k)=del4tot(k)+del4t;

yhat=ysd/hsd; %ekualisasi dengan
asumsi : Rx mengetahui CSI dengan sempurna
bithat=real(yhat)>0;

nErr(k) = nErr(k)+ size(find([ip- bithat]),2);
nErrsel(k)=nErrsel(k)+ size(find([ip- bithatsel]),2);
nErrsel2(k)=nErrsel2(k)+size(find([ip-bithatsel2]),2);
nErrsel3(k)=nErrsel3(k)+size(find([ip-bithatsel3]),2);
nErrsel4(k)=nErrsel4(k)+size(find([ip-bithatsel4]),2);

end
end

firelay=sum(deltot)/(17*iter);
serelay=sum(del2tot)/(17*iter);
threlay=sum(del3tot)/(17*iter);
forelay=sum(del4tot)/(17*iter);

ber=nErr/(N*iter);
bersel=nErrsel/(N*iter);
bersel2=nErrsel2/(N*iter);

```



```

bersel3=nErrsel3/(N*iter);
bersel4=nErrsel4/(N*iter);

EbN0Lin=10.^(ebnodb/10);
theoryBer = 0.5.*(1-sqrt(EbN0Lin./(EbN0Lin+1))); % teori
BER Rayleigh

semilogy(ebnodb,theoryBer,'-dg','LineWidth',2);
hold on;
semilogy(ebnodb,ber,'-*b','LineWidth',2);
hold on;
semilogy(ebnodb,bermrc(1,:),'-db','LineWidth',2);
hold on;
semilogy(ebnodb,bermrc(2,:),'-dc','LineWidth',2);
hold on;
semilogy(ebnodb,bermrc(3,:),'-dm','LineWidth',2);
hold on;
semilogy(ebnodb,bermrc(4,:),'-dk','LineWidth',2);
hold on;
semilogy(ebnodb,bersel,'-r','LineWidth',2);
hold on;
semilogy(ebnodb,bersel2,'-*b','LineWidth',2);
hold on;
semilogy(ebnodb,bersel3,'-dg','LineWidth',2);
hold on;
semilogy(ebnodb,bersel4,'-om','LineWidth',2);
grid on;
axis([0 15 10^-5 10^0])
hold off;
xlabel('E_b/N_0 (dB)');
ylabel('BER');
legend('Rayleigh Theory No Cooperative','Rayleigh Simulation No
Cooperative','Relay 1 Selected Without Relay Selection in
Cooperative',...
'Relay 2 Selected Without Relay Selection in
Cooperative','Relay 3 Selected Without Relay Selection in
Cooperative',...
'Relay 4 Selected Without Relay Selection in Cooperative','1
Selected Relay in Cooperative',...
'2 Selected Relay in Cooperative','3 Selected Relay in
Cooperative','4 Selected Relay in Cooperative');

delaynew=[firelay serelay threlay forelay];
save('delaynew.mat','delaynew','-ascii');
delayallnew=[ebnodb' deltot' del2tot' del3tot' del4tot'];
save('delayallnew.mat','delayallnew','-ascii');
bernew=[ebnodb' theoryBer' ber' bersel' bersel2' bersel3'
bersel4'];
save('bernew.mat','bernew','-ascii');
withoutrel=[ebnodb' theoryBer' ber' bermrc(1,:) ' bermrc(2,:) '
bermrc(3,:) ' bermrc(4,:) ' bersel' bersel2' bersel3' bersel4'];
save('withoutrel.mat','withoutrel','-ascii');

toc

```


Fungsi CalcDistance

```
function dist=CalcDistance(coor1, coor2)
    dist=sqrt(abs(coor1(1)-coor2(1))^2+abs(coor1(2)-coor2(2))^2);
end
```

Fungsi attthorp

```
function att=attthorp(distance, frequency)
f=frequency; %freq in kHz
fsq=f^2;
k=1; %spreading coef
dist=distance*1.09361; %distance in yards
geospreading=k*10*log10(dist);
alpha=0.1*fsq/(1+fsq) + 40*fsq/(4100+fsq) + 2.75*0.0001*fsq + 0.003;
att=geospreading + (dist/1000) * alpha;
```

Fungsi CalcPropDelay

```
function dly=CalcPropDelay(dist)
    dly=dist/1500;
end
```


RIWAYAT HIDUP



Arum Shadewi Ittaqa, lahir di Malang pada tanggal 5 Desember 1990. Penulis memulai pendidikan formal di SD Yasporbi III Jakarta, kemudian meneruskan pendidikan ke SMP N 255 Jakarta, kemudian meneruskan pendidikan ke SMA N 3 Malang. Penulis menyelesaikan pendidikan jenjang Diploma 4 (DIV) di Politeknik Negeri Malang, jurusan Teknik Elektro, program studi Jaringan Telekomunikasi Digital, lulus tahun 2013. Selain menjalani kegiatan pendidikan formal, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan, mulai dari pelaksana acara kegiatan hingga menjadi sekretaris dalam struktur organisasi. Organisasi yang diikuti diantaranya organisasi HME (Himpunan Mahasiswa Elektro) dan organisasi radio kampus PLFM (Politeknik FM). Terdaftar sebagai mahasiswa Program Pasca Sarjana, Program Strata Dua Tahun 2014 pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, lulus tahun 2016. Penulis dapat dihubungi melalui email arum.ittaga@gmail.com.